



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS



**MARCELO BARBOSA MUNIZ**

**PROCESSAMENTO DAS VAGENS DE ALGAROA (*Prosopis juliflora*)  
PARA PRODUÇÃO DE BIOPRODUTOS**

**Campina Grande – Paraíba**

**2009**

Created with

**nitro** PDF<sup>®</sup> professional  
download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

**MARCELO BARBOSA MUNIZ**

**PROCESSAMENTO DAS VAGENS DE ALGAROA (*Prosopis juliflora*) PARA PRODUÇÃO DE BIOPRODUTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do Título de Doutor.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos

Orientadores:

Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Josivanda Palmeira Gomes

CAMPINA GRANDE  
2009

Created with



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M66pp	Muniz, Barbosa Muniz
2009	Processamento das vagens de algaroba ( <i>Prosopis juliflora</i> ) para produção de bioprodutos. Marcelo Barbosa Muniz - Campina Grande 2009 145f. : il.  Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos. Referências Orientadores: Prof. Dr. Luiz Honorato da Silva, Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes 1. Algaroba. 2. Enriquecimento nutricional. 3. Bioetanol I. Título  CDU: 633 875(043)

# **PROCESSAMENTO DAS VAGENS DE ALGAROA (*Prosopis juliflora*) PARA PRODUÇÃO DE BIOPRODUTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

---

Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva (Orientador – UFCG)

---

Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes (Orientadora – UFCG)

---

Prof. Dra. Maria Elita Martins Duarte (Examinadora interna – UFCG)

---

Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo (Examinador externo – UFCG)

---

Prof. Dr. Manoel Ferreira Alves (Examinador externo – UFPB)

Created with



## *DEDICATÓRIA*

*Ao nosso Onipotente*

*Dedico este trabalho*

Created with



## AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus por tudo que me foi concebido, desde o início da minha vida até no momento de hoje.

A minha mãe, pelo grande incentivo aos estudos e também pelos valores que me foi dado e ao meu pai “*in memorian*”.

As minhas irmãs pelas grandes torcidas e impulsos que recebi durante toda a trajetória dos meus estudos em especial a Maricleide (galega).

Agradeço a Universidade Federal de Campina Grande por ter concedido os ensinamentos durante o curso do Doutorado em Engenharia de Processos.

Ao grande pesquisador Clóvis Gouveia, que desde o princípio dedicou-se com muita afeição e amizade durante todo o processo de forma incessante, trazendo sempre boas idéias para o crescimento do trabalho, agradeço também a grande amiga Aleksandra que esteve sempre presente participando de forma ativa e incansável em todos os procedimentos desses estudos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva pela forma gentil e valorosa dos seus conhecimentos em prol dessa pesquisa, agradeço também pelo apoio e ajuda que me foi dado através da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Josivanda Palmeira Gomes.

Aos professores, Prof. Dr. Manoel Ferreira Alves, pela força e apoio a esse trabalho, como também a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Rossana Maria Feitosa Figueirêdo do Departamento de Engenharia Agrícola.

Agradeço a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Elita pelas argüições e principalmente sugestões que foram concedidas no meu trabalho de tese.

A Danilo pelo auxílio e principalmente pelo incentivo de fazer com que esse meu doutorado fosse prioridade na minha vida, agradeço também ao meu grande amigo Luiz por todos os incentivos que me foi dado na minha vida profissional e acadêmica.

As colegas pesquisadoras Mércia Mota pelas grandes ajudas que foram dedicadas

nos Laboratórios, agradeço também a Ana Regina pelas ideias e grande ajuda científica que foi solicitado a esse trabalho, a grande amiga Sckaymenn pela enorme força psicológica que ela me deu durante essa caminhada.

Aos colegas do curso em especial a Flávia, Marcos, França, José Carlos, Marcos, Thiago, Luciene, Adriano, Hermeval, Isadora, Tailândia e em especial a Emanuele pela enorme ajuda.

A Associação Menonita de Assistência Social (AMAS) por ter sido compreensiva nessa minha vida acadêmica, em especial a Direção, como também a Jullie e a Beth pela colaboração desse trabalho, e também a todos os técnicos da AMAS que de maneira carinhosa incentivaram para que eu conseguisse realizar esse objetivo, em especial para a equipe do cariri.

Ao PDHC (Projeto Dom Helder Câmara) que sempre nas lutas das nossas ações no cariri paraibano esteve incentivando por essa minha conquista.

Aos funcionários e alunos do Laboratório de Engenharia Bioquímica, Transferência em Meios Porosos e Sistemas Particulados.

*A todos aqueles que estiveram contribuindo de forma direta e indireta em os todos os processos desse trabalho, o meu muitíssimo agradecimento.*

## LISTA DE FIGURAS

1 - Árvore de algaroba ( <i>Prosopis juliflora</i> (SW) D.C)-----	06
2 - Folhas, frutos verdes e maduros da algarobeira no município de Cuité, PB -----	08
3 - Fluxograma para obtenção do fermentado (vinho) de algaroba -----	28
4 - Processo de coleta das vagens de algaroba no município de Cuité, PB -----	29
5 - Seleção, limpeza e fragmentação das vagens de algaroba-----	30
6 - Hidratação das vagens (a) e extração do caldo das vagens de algaroba (b)-----	31
7 - Processo de fermentação alcoólica das vagens de algaroba, através da levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> -----	33
8 - Filtração do meio fermentado e da biomassa após a fermentação alcoólica-----	34
9 - Centrifugação do fermentado de algaroba para separação do mosto da biomassa -----	35
10 - Pasteurização à 65 °C e choque térmico do fermentado de algaroba-----	38
11 - Tubos de eppendoff para determinação da biomassa-----	40
12 - Fluxograma experimental para obtenção do bioetanol através das vagens de algaroba-----	41
13 - Destilador de cobre adaptado para produção de etanol-----	42
14 - Fluxograma experimental do enriquecimento nutricional do resíduo da algaroba.	44
15 - Fermentação semi-sólida em biorreator de bandejas-----	48
16- Fermentação semi-sólida do farelo de algaroba na estufa sem circulação-----	49
17- Fluxograma para obtenção da farinha e do farelo de algaroba -----	51
18 - Moagem dos resíduos das vagem de algaroba-----	52
19 - Peneiramento dos resíduos das vagem de algaroba -----	53
20- Fluxograma experimental para obtenção do bolo de resíduo de algaroba-----	54
21 - Mistura dos ingredientes para fabricação do bolo de algaroba.-----	55
22 - Quantidade de água adicionada no resíduo de algaroba e sua correlação de atividade de água -----	62

<b>23 - Isoterma de adsorção para o resíduo da vagem de algaroba “in natura” à temperatura de 30 °C. (Ajuste do modelo de GAB) -----</b>	<b>64</b>
<b>24 - Isoterma de adsorção para o resíduo da vagem de algaroba “in natura” à temperatura de 30 °C. (Ajuste pelo modelo de BET)-----</b>	<b>65</b>
<b>25 - Perfil do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 30 °C -----</b>	<b>67</b>
<b>26 - Perfil do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 6% na temperatura de 30 °C -----</b>	<b>68</b>
<b>27 - Perfil do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 40 °C -----</b>	<b>68</b>
<b>28 - Perfil do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 6% na temperatura de 40 °C -----</b>	<b>69</b>
<b>29 - Perfil do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C -----</b>	<b>70</b>
<b>30 - Perfil do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C -----</b>	<b>70</b>
<b>31 - Perfil do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C -----</b>	<b>71</b>
<b>32 - Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo das vagens de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 30 °C (1º Experimento) -----</b>	<b>72</b>
<b>33 - Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 6% na temperatura de 30 °C (2º Experimento) -----</b>	<b>73</b>
<b>34 - Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 40 °C (3º Experimento) -----</b>	<b>73</b>
<b>35 - Perfil do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 6% na temperatura de 40 °C (4º Experimento) -----</b>	<b>74</b>
<b>36 - Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C (5º Experimento) -----</b>	<b>74</b>
<b>37 - Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C (6º Experimento) -----</b>	<b>75</b>

<b>38 - Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C (7º Experimento) -----</b>	<b>75</b>
<b>39 - Comportamento do crescimento celular no reator 1 (15 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>84</b>
<b>40 - Cálculo da velocidade específica de crescimento celular (<math>\mu_{\text{máx}}</math>) para o processo fermentativo do reator 1 (15 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)--</b>	<b>85</b>
<b>41 - Comportamento do crescimento celular no reator 2 (21 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>85</b>
<b>42 - Cálculo da velocidade específica de crescimento celular (<math>\mu_{\text{máx}}</math>) para o processo fermentativo do reator 2 (21 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>86</b>
<b>43- Comportamento do crescimento celular no reator 3 (15 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>87</b>
<b>44 - Cálculo da velocidade específica de crescimento celular (<math>\mu_{\text{máx}}</math>) para o processo fermentativo do reator 3 (15 °Brix, 20 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>87</b>
<b>45 - Comportamento do crescimento celular no reator 4. (21 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>88</b>
<b>46 - Cálculo da velocidade específica de crescimento celular (<math>\mu_{\text{máx}}</math>) para o processo fermentativo do reator 4 (21 °Brix, 20 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>89</b>
<b>47 - Comportamento do crescimento celular no reator 5 (18 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>89</b>
<b>48 - Cálculo da velocidade específica de crescimento celular (<math>\mu_{\text{máx}}</math>) para o processo fermentativo do reator 5 (18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>90</b>
<b>49 - Comportamento do crescimento celular no reator 6 (18 °B, 15 g L<sup>-1</sup>).-----</b>	<b>91</b>
<b>50 - Cálculo da velocidade específica de crescimento celular (<math>\mu_{\text{máx}}</math>) para o processo fermentativo do reator 6 (18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>91</b>
<b>51 - Comportamento do crescimento celular no reator 7 (18 °B, 15 g L<sup>-1</sup>)-----</b>	<b>92</b>
<b>52 - Cálculo da taxa de crescimento celular (<math>\mu_{\text{máx}}</math>) para o processo fermentativo do reator 7 (18 °B, 15 g L<sup>-1</sup>) -----</b>	<b>93</b>
<b>53 - Comportamento dos substratos (ART) durante o processo de fermentação alcoólica nos 4 experimentos(°Brix e concentração de leveduras) -----</b>	<b>95</b>
<b>54 - Comportamento dos substratos (ART) durante o processo de fermentação alcoólica em 3 experimentos do ponto central. (°Brix e concentração de leveduras) -----</b>	<b>96</b>
<b>55 - Curvas de produção de etanol durante a fermentação alcoólica nos experimentos 1, 2, 3 e 4 -----</b>	<b>98</b>

<b>56 -</b> Curvas de produção de etanol durante a fermentação alcoólica nos experimentos 5, 6 e 7 do ponto central -----	98
<b>57 -</b> Concentração da acidez total, para os experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica -----	100
<b>58 -</b> Concentração da acidez total, para experimento 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica -----	100
<b>59 -</b> Comportamento do pH dos experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica-----	101
<b>60 -</b> Comportamento do pH dos experimentos 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica - -----	102
<b>61 -</b> Comportamento dos sólidos solúveis totais (°Brix) dos experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica -----	103
<b>62 -</b> Comportamento dos sólidos solúveis totais (°Brix) dos experimentos 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica-----	104
<b>63 -</b> Perfil dos valores para aparência atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh ----	114
<b>64 -</b> Perfil dos valores para aroma atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh -----	115
<b>65 -</b> Perfil dos valores para textura atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh ---	115
<b>66 -</b> Perfil dos valores para sabor atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh -	116
<b>67 -</b> Comportamento cinético da destilação do caldo de algaroba na produção de etanol -	119

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

### TABELAS

1 - Resultados obtidos nas determinações analíticas do resíduo de algaroba -----	10
2 – Níveis reais e codificados das variáveis de entrada-----	32
3 - Matriz de planejamento fatorial $2^2 + 3$ no ponto central, da fermentação alcoólica do caldo da algaroba-----	32
4 - Níveis reais e codificados das variáveis de entrada-----	45
5 - Matriz de planejamento fatorial $2^2 + 3$ PC, para fermentação semi-sólida. -----	46
6 - Classificação granulométrica das farinhas e do farelo das vagens de algaroba-----	53
7 - Balanço de massa para o bolo com 35% da farinha de algaroba-----	55
8 - Composição físico-química do farelo “in natura” das vagens de algaroba (base seca) ---	59
9 - Parâmetros de ajuste do modelo matemático de GAB e BET, com o respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), na temperatura de 30 °C -----	63
10 - Valores de proteína bruta durante o processo de fermentação semi-sólida com 9 experimentos -----	66
11 - Valores de açúcares redutores totais durante o processo de fermentação semi-sólida---	72
12 -. Modelos sem curvatura para variável de reposta do enriquecimento protéico de 2 à 96 horas de fermentação com as temperaturas de 30 , 35 e 40 °C-----	77



<b>13 - Modelos com curvatura para variável de reposta do enriquecimento protéico de 2 à 96 horas de fermentação com as temperaturas de 30 , 35 e 40 °C-----</b>	<b>78</b>
<b>14 - Teor de pH na cinética do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba -----</b>	<b>79</b>
<b>15 - Teor de umidade (b.u) na cinética do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba -----</b>	<b>80</b>
<b>16 - . . Modelos para variável de repostas de aumento de produtividade (g/L.h)após 18 horas de fermentação -----</b>	<b>105</b>
<b>17 - . Modelos para variável de repostas de aumento de rendimento teórico (Yp/s) após 18 horas de fermentação ---</b>	<b>106</b>
<b>18 -. Modelos para variável de repostas de conversão (%) após 18 horas de fermentação.-</b>	<b>106</b>
<b>19 -. Modelos para variável de repostas de aumento de rendimento celular (Yx/s) após 18 horas de fermentação.---</b>	<b>107</b>
<b>20- . Parâmetros cinéticos do processo fermentado -----</b>	<b>108</b>
<b>21 -. Composição química do farelo in natura e das farinhas de 60 (0,25 mm) e 80 mesh (0,18 mm) das vagens de algaroba.-----</b>	<b>111</b>
<b>22 - Valores atribuídos à aparência e aroma ao bolo de algaroba com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 60 e 80 mesh ---</b>	<b>113</b>
<b>23 -. Valores atribuídos à textura e sabor ao bolo de algaroba com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 60 e 80 mesh ---</b>	<b>114</b>
<b>24 -. Análise de comparação entre as médias da aparência, aroma, textura e sabor do bolo da farinha do resíduo de algaroba com a granulometria de 60 e 80 mesh ---</b>	<b>117</b>
<b>25 - Composição físico-química do etanol do mosto das vagens de algaroba -----</b>	<b>120</b>

## QUADROS

**1** – Atividade de água ( $A_w$ ) mínima para sobrevivência de fungos ----- 20

**2** – Escala hedônica para as análises sensoriais do bolo de algaroba.-----57

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>- iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>--xi</b>
<b>ABSTRAT</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>-01</b>
1.1. Justificativa	03
1.2. Objetivo geral	04
1.3. Objetivos específicos	04
 <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	 <b>06</b>
2.1. Algaroba ( <i>Prosopis juliflora</i> (Swartz) D. C)	06
2.1.1. Características agronômicas	07
2.1.2. O farelo da vagem de algaroba e sua importância nutricional	09
2.1.3. Farinha de algaroba	10
2.1.4. Digestibilidade	11
2.1.5. Trabalhos sobre o aproveitamento do farelo e da farinha de algaroba	13
2.2. Fermentação semi-sólida	14
2.2.1. Vantagens da fermentação semi-sólida	15
2.2.2. Desvantagem da fermentação semi-sólida	16
2.3.3. Microrganismos	17
2.3.4. Biorreatores	17
2.4. Influências das variáveis no processo de fermentação semi-sólida	18
2.4.1. Sólidos solúveis totais	18
2.4.2. pH	18
2.4.3. Temperatura	19
2.4.4. Atividade de água	19
2.4.5. Modelos matemáticos para ajuste s da isoterma	19
2.4.5. Trabalhos sobre fermentação semi-sólida	20
2.4.5.1 Modelo de BET	20
2.4.5.1 Modelo de GAB	20
2.4.6. Trabalhos sobre fermentação semi-solida	21
2.7. Fermentado da fruta	21
2.8. Trabalhos sobre fermentado da fruta	23

2.9. Produção do etanol.-----	25
2.10. Trabalho sobre etanol.-----	25

## **MATERIAL E MÉTODOS ----- 27**

3.1. Descrição do processo e obtenção do fermentado (vinho) de algaroba-----	29
3.1.1. A matéria-prima -----	29
3.1.2. Seleção e limpeza, fragmentação -----	29
3.1.2.1. Sanitização -----	30
3.1.2.2. Hidratação com aquecimento a 60 °C e prensagem -----	30
3.1.2.3. Planejamento fatorial -----	31
3.1.2.4. Análises estatísticas -----	32
3.1.2.5. Adição de inóculo -----	33
3.1.2.6. Fermentação alcoólica e estudo cinético -----	33
3.1.2.7. Estudo cinético do fermentado -----	34
3.1.2.8. Filtração -----	34
3.1.2.9. Bebida fermentada (vinho), centrifugação -----	35
3.2. Cálculo de produtividade, rendimento teórico, rendimento em biomassa, percentual conversão e a velocidade específica máxima de crescimento -----	35
3.2.1. Cálculo da produtividade ( $\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) -----	35
3.2.2. Rendimento do produto ( $Y_{p/s}$ ) -----	36
3.2.3. Rendimento em biomassa ( $Y_{x/s}$ ) -----	36
3.2.4. Percentual de conversão (%) -----	37
3.2.5. Determinação da velocidade específica máxima de crescimento ( $\text{h}^{-1}$ ) -----	37
3.2.6. Pasteurização -----	38
3.2.7. Potencial de hidrogênio iônico (pH) -----	38
3.2.8. Sólidos solúveis totais (°Brix) -----	39
3.2.9. Concentração de etanol (°GL) -----	39
3.2.10. Açúcares redutores totais (ART) -----	39
3.2.11. Acidez total -----	40
3.2.12. Concentração de biomassa ( $\text{g L}^{-1}$ ) -----	40
3.3. Produção de etanol -----	42
3.3.1. Mistura e análise química dos fermentados -----	42

3.3.2. Destilação-----	42
3.3.3. Concentração de etanol no destilado -----	43
3.3.3.1. Cálculo do rendimento -----	43
3.4. Descrição do processo para da fermentação semi-sólida em biorreatores para obtenção do enriquecimento protéico -----	45
3.4.1. Fração sólida (farelo) -----	45
3.4.2. Planejamento fatorial -----	45
3.4.3. Isotermas de adsorção de umidade -----	46
3.4.4. Preparação material e inoculação do substrato -----	48
3.4.5. Fermentação semi-sólida do farelo da algaroba -----	48
3.4.6. Armazenamento -----	49
3.4.7. Análises físico-químicas -----	49
3.4.8. Umidade -----	49
3.4.9. pH -----	49
3.4.10. Aumento do teor de proteína bruta -----	50
3.4.11. Açúcares redutores totais -----	50
3.4.12. Energia bruta (EB)-----	50
3.4.13. Fósforo (P), potássio, (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) -----	50
3.4.14. FDN (Fibra em Detergente Neutro) e FDA (Fibra em Detergente Ácido) --	51
3.5. Descrição do processo para a obtenção do farelo e da farinha das vagens de algaroba.-----	52
3.5.1. Fração sólida (resíduo) -----	52
3.5.2. Secagem, moagem -----	52
3.5.3. Peneiramento -----	52
3.5.4. Granulometria -----	53
3.6. Descrição do processo da produção do bolo de algaroba -----	54
3.6.1. Fração sólida (farinha) -----	54
3.6.2. Pesagem e mistura -----	55
3.6.3. Modelagem e assamento -----	56
3.6.4. Análise sensorial -----	56
3.7. Análise estatística -----	58

<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO -----</b>	<b>-59</b>
4.1. Caracterização físico-química do farelo das vagens de algaroba-----	59
4.2. Isoterma de adsorção de umidade do farelo das vagens de algaroba -----	61
4.2.1. Isoterma de adsorção de umidade do farelo (resíduos) das vagens de algaroba in natura-----	62
4.3. Estudo cinético da fermentação semi-sólida do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba -----	66
4.3.1. Proteína bruta-----	66
4.3.2. Considerações gerais-----	80
5.1. Estudo cinético da concentração celular (biomassa) para produção do fermentado das vagens de algaroba -----	83
5.2. Estudo cinético dos açúcares redutores totais (ART) para produção do fermentado das vagens de algaroba -----	94
5.3. Estudo cinético da produção do Etanol durante a produção do fermentado das vagens de algaroba -----	97
5.4. Estudo cinético do teor de acidez e pH durante a produção do fermentado das vagens de algaroba -----	99
5.5. Estudo cinético do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) durante a produção do fermentado das vagens de algaroba -----	103
5.6. Estudo do planejamento fatorial dos parâmetros de conversão, produtividade de álcool (etanol), rendimento teórico, % conversão e rendimento da biomassa durante a produção do fermentado das vagens de algaroba-----	105
5.7. Estudo cinético dos parâmetros durante a produção do fermentado das vagens de algaroba -----	108
6.1. Caracterização físico-química da farinha das vagens de algaroba-----	110
6.2. Análise sensorial do bolo de algaroba -----	112
7.1. Processo de produção do bioetanol -----	119
7.2. Caracterização físico-química do etanol -----	120
<b>8. CONCLUSÕES -----</b>	<b>122</b>

**9. PERSPECTIVAS PARA FUTUROS TRABALHOS----- 124**

**10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ----- 125**

**APEDÊNDICE ----- 139**

Created with

## RESUMO

Sabe-se hoje que o semi-árido é uma região que onde a seca não deve mais ser combatida, deve-se encontrar meios de exploração que facilite a convivência com ela, para isso, Governos, Entidades e Órgãos estão sempre desenvolvendo meios para que essa convivência seja cada dia mais harmoniosa entre o homem e o meio que ele vive direto ou indiretamente buscando sempre através da agricultura familiar uma forma sustentável. A algarobeira é hoje no Brasil, uma espécie de grande importância para a região Nordeste, tanto por suas múltiplas utilidades, quanto por sua perfeita adaptação às condições edáficas e climáticas do semi-árido nordestino. No Estado da Paraíba essa cultura é mais evidente na região do cariri, sertão e curimataú. Objetivou-se com esse trabalho a produção de bioprodutos como a bebida fermentada, das vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC), e com o resíduo das vagens o enriquecimento nutricional, (protéico, energético e mineral), produção de bolo através da farinha dos resíduos das vagens de algaroba e a produção de bioetanol, com o intuito de gerar renda para os agricultores que fazem parte da agricultura familiar. A metodologia desse trabalho foi direcionada para produção da bebida fermentada de algaroba com influência das concentrações de 10, 15, e 20% de leveduras (*Sacharomyces cerevisiae*) e com os sólidos solúveis totais (SST) nas concentrações de 15, 18 e 21 °Brix; foram observados os melhores parâmetros cinéticos para % conversão, produtividade, rendimento em biomassa e teórico no tempo de 18 horas de fermentação. Neste estudo também se desenvolveu o enriquecimento nutricional através dos resíduos das vagens de algaroba nas concentrações de leveduras de 2, 4 e 6%, nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C. Foram analisados o teor de proteína bruta e aumento protéico, onde os resultados de proteína bruta foram submetidos à análise de variância, e estudo da isoterma de adsorção do resíduo do farelo das vagens de algaroba à 30 °C, Os maiores aumento protéico ocorreram no tempo de 24 horas de fermentação a uma temperatura de 40 °C. Foi realizada em uma outra etapa a destilação com uma coluna adaptada para a obtenção do bioetanol, onde foi encontrada uma produção inicial etanol no valor de 91 °GL, e na última etapa desse trabalho foi realizado, com os resíduos das vagens de algaroba, a produção de bolo com duas concentrações, com a granulometria de 60 mesh (0,25 mm) e 80 mesh (0,18 mm), e caracterizado as características organolépticas como aroma, textura, odor e sabor, através da análise sensorial por provadores não treinados. Devido ao alto teor de açúcares oferecido pelas vagens de algaroba, encontrou-se nos resultados

Created with



uma boa produtividade da bebida fermentada de algaroba; observou-se nesse estudo o rendimento na produção do bioetanol; na fermentação semi-sólida encontrou-se um bom desenvolvimento para o aumento protéico durante a cinética de fermentação; e o modelo que melhor se ajustou as isotermas de adsorção foi o modelo de GAB na temperatura de 30 °C; para o bolo de 60 mesh, mesmo tendo uma melhor aceitação do que o de 80, as avaliações não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. Dessa maneira observa-se que todos os produtos aqui estudados das vagens de algaroba podem ser utilizados por agricultores para o aumento da renda familiar.

**Palavras-chave:** algaroba, enriquecimento nutricional, bioetanol

## ABSTRACT

We know today that the semi-arid is a region where drought should no longer be fought; ways must be found to facilitate harmonious living. To this end, governments and entities are always developing technologies to increase sustainable relationships between the family farmer and the environment. The mesquite tree (*Prosopis juliflora* Sw DC) is important for the Northeast region, due to its multiple uses, and by its perfect adaptation to the semi-arid climatic and soil conditions. The mesquite tree is most evident in the Cariri interior and Curimataú in the state of Paraíba. The objective of this study was the production of mesquite byproducts such as brew pods, pod residue nutritional enrichment (protein, mineral and energy), cake production using mesquite pod waste, and the production of bioethanol, for family farmer income generation. The study methodologies were directed toward mesquite brew production considering the influence of 10, 15, and 20% yeast concentrations (*Saccharomyces cerevisiae*) and total soluble solids (TSS) in 15, 18 and 21 Brix concentrations. The best kinetic parameters observed for % conversion, productivity, biomass yield was 18 hours of fermentation. This study also developed nutritional enrichment of mesquite pod waste with yeast concentrations of 2, 4 and 6%, at temperatures of 30, 35 and 40 ° C. The protein content and protein increase were analyzed, where the protein results were subjected to variance analysis. Adsorption isotherm of the mesquite pod residue at 30 ° C was also studied. The largest protein increase occurred in a 24 hour fermentation time at a 40 ° C temperature. Another step that occurred was a distillation column adapted to obtain bioethanol, which found an initial production of ethanol 91 ° GL. Due to the high sugar content offered by mesquite pods, a good mesquite brew was obtained. The last stage of

this study was mesquite pod waste cake production using two particle size concentrations: 60 mesh (0.25 mm) and 80 mesh (0.18 mm). Organoleptic characteristics such as flavor, texture, smell and taste were evaluated by sensory evaluation by untrained tasters. A good development for protein increase during fermentation kinetics was found in solid-state fermentation. The best model to fit the adsorption isotherms was the GAB model at 30 ° C, for the 60 mesh cake, with greater acceptance than the 80 mesh cake. The ratings were not significantly different at 5% probability according to the Tukey test. Thus it is observed that all the mesquite pod products studied here may be used by farmers to increase family income.

Key words: mesquite, nutritional enrichment, bioethanol

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>AR</b>	– Açúcares reductores
<b>ART</b>	– Açúcares reductores totais
<b>AP</b>	– Aumento protéico
<b>a<sub>w</sub></b>	– Atividade de água
<b>b.u.</b>	- base úmida
<b>EB</b>	– Energia bruta
<b>EE</b>	– Extrato etéreo
<b>ENN</b>	– Extrato não nitrogenado
<b>FB</b>	– Fibra bruta
<b>FDN</b>	– Fibra em detergente neutro
<b>FDA</b>	– Fibra em detergente ácido
<b>FVA</b>	– farelo da vagem de algaroba
<b>F<sub>sm</sub></b>	– Fermentação submersa
<b>FSS</b>	– Fermentação semi-sólida
<b>FVA</b>	– Farelo de vagem de algaroba
<b>GAB</b>	– Guggenheim, Anderson e de Boer
<b>°GL</b>	- Graus Gay Lussac
<b>K</b>	– Constante dos modelos utilizados
<b>MM</b>	– Matéria mineral
<b>μ<sub>máx</sub></b>	– Velocidade específica máxima de crescimento do microrganismo (h <sup>-1</sup> )
<b>MS</b>	– Matéria seca
<b>MO</b>	- Matéria orgânica
<b>P</b>	– Produtividade (g L <sup>-1</sup> )
<b>PB</b>	– Proteína bruta
<b>S</b>	– Concentração final do produto (g L <sup>-1</sup> )
<b>S<sub>0</sub></b>	– Concentração em substrato inicial (g L <sup>-1</sup> )
<b>SST</b>	– Sólidos solúveis totais (°Brix)
<b>T</b>	- Temperatura (°C)
<b>T</b>	– tempo (h)
<b>VAT</b>	– Vagem de algaroba Triturada
<b>X<sub>eq</sub></b>	– Conteúdo de umidade de equilíbrio

**$X_m$**  – Conteúdo de umidade na monocamada molecular

**$X$** - Concentração final de biomassa ( $\text{g L}^{-1}$ )

**$X_0$**  – Concentração inicial de biomassa ( $\text{g L}^{-1}$ )

**$Y_{p/s}$**  – Rendimento do produto (etanol)

**$Y_{p/x}$**  – Rendimento de biomassa

Created with

# INTRODUÇÃO

---

## CAPÍTULO 1

Created with

## 1. INTRODUÇÃO

A algarobeira (*Prosopis juliflora*) é uma espécie vegetal leguminosa, não oleaginosa, nativa das regiões áridas e semi-áridas das Américas, África e Ásia, sendo que nesta última se concentra a maioria das 44 espécies do gênero *Prosopis*, apresentando, portanto, admirável amplitude de adaptação. Ela é utilizada para a produção de madeira, carvão vegetal, estacas, álcool, melação, alimentação animal e humana, apicultura, reflorestamento, ajardinamento e sombreamento, tornando-se, por conseguinte, uma cultura de importante valor econômico e social (PEREZ & MORAES, 1991). No Nordeste brasileiro, essa xerófita, introduzida no início da década de 40, com o objetivo de alimentar animais e para ser utilizada em reflorestamento, aparece atualmente como uma possível fonte de alimento alternativo para o homem (SILVA et al., 1993) uma vez que se constitui numa das raras espécies capazes de possibilitar aos animais e ao próprio homem uma convivência harmoniosa com o fenômeno adverso e periódico das secas.

A algarobeira é uma leguminosa arbórea que concentra a maior parte do seu valor nutritivo nas vagens (frutos), constituindo-se rica fonte de carboidratos e proteínas. Estudos sobre a utilização da algaroba para várias espécies como bovinos, ovinos, suínos, aves, têm sido desenvolvidos com o objetivo de tornar viável sua inclusão em rações, bem como minimizar os custos da produção animal (TALPADA & SHUKLA, 1988).

Para que pequenas indústrias, e pequenos e médios produtores possam crescer e serem competitivos faz-se necessários estudos que se traduzam em melhorias para os agricultores, agregando valor ao produto, mediante melhor aproveitamento, como a industrialização das vagens, e seus subprodutos.

É bom salientar que hoje em dia diversos substratos têm sido enriquecidos proteicamente, com sucesso, por fermentação semi-sólida com microrganismos: pedúnculo de caju (CAMPOS et al., 2005); resíduos de abacaxi (SUHET, 1999; CORREIA, 2004; OLIVEIRA, 2007); casca de maracujá (OLIVEIRA, 2007); mandacaru (ARAÚJO et al., 2009; ALMEIDA et al., 2009); vagens de algaroba (PERAZZO NETO, 1999) e palma forrageira (PERAZZO NETO, 1999; ARAÚJO et al., 2009; CAMPOS, 2008).

Como alternativa aos desperdícios da vagem da algaroba tem sido apontada à conservação por meio da industrialização, onde a produção de vinho surge como meio de utilização destas, sem o qual as vagens não poderiam competir no mercado (CAMPELO, 1987).

A bebida alcoólica é proveniente da fermentação do substrato (composto principalmente de carboidrato), obtendo-se substâncias como acetaldeídos, ésteres, acetonas, álcoois superiores, que dão o aroma e o sabor (características sensoriais). Por possuir alto teor de carboidrato, a algaroba pode ser uma boa matéria-prima para produção de fermentado (vinho) e, como consequência, o etanol e também os seus resíduos sólidos aproveitados em bioprodutos para alimentação humana e animal.

Atualmente, apesar da polêmica, diversas espécies (cultivares) de algaroba naturalmente selecionadas vêm sendo plantadas em diferentes partes do mundo com o intuito de recuperar e/ou reflorestar regiões áridas e semi-áridas. Com a ajuda da biotecnologia, em breve será possível eliminar as características indesejáveis e acentuar as desejáveis, apesar de todas as dificuldades, principalmente por se tratar de uma espécie antes vista com descrédito e mesmo indesejável. Hoje, após tantos trabalhos e seu reconhecimento pela National Academy of Science, conquistou seu lugar como importante leguminosa para o desenvolvimento de regiões menos favorecidas. Embora muito progresso tenha sido feito desde 1975, tanto na área tecnológica quanto na agrônômica, há ainda muito a ser estudado, entendido e divulgado. Está aberta uma interessante área multidisciplinar que envolve agronomia, ecologia, biologia, biotecnologia, tecnologia de alimentos e nutrição. Continua-se com a certeza de que a algaroba, em sua totalidade, virá a ser reconhecida como uma importante dádiva da natureza. Era esta a importância que lhe davam as civilizações das diferentes regiões desérticas de onde ela é nativa, e que a usavam plenamente. Fica a esperança de que este reconhecimento não demore se não for pelas muitas razões aqui abordadas, que seja pelas significativas melhoras geo-sócio-econômicas que acarretará para as regiões e os povos sofridos que com ela convivem.

Diante do exposto, nota-se a necessidade de se trabalhar mais o potencial que as vagens de algaroba oferecem tanto com produto para alimentação animal, como também para o consumo humano, além de proporcionar subsídios para outros bioprodutos que venham a ressaltar em ganhos econômicos.



## 1.1. JUSTIFICATIVA

Hoje em dia a pesquisa é, e se faz um instrumento científico tecnológico, que vem a desencadear meios decisivos para melhorar e desvendar técnicas que transformam projetos em possibilidades concretas para todo o meio, seja social e/ou, econômicos; assim, o estudo através do processo de fermentação semi-sólida para alimentação animal, aproveitamento do resíduo para a fabricação da farinha na alimentação humana, produção de fermentado e também a fabricação de bioetanol abonará suporte para pequenos e médios agricultores da região possam a vir desenvolver meios de agregar mais valores às suas rendas familiares através da inclusão de novas tecnologias.

O vinho é uma bebida tradicionalmente produzida por fermentação alcoólica de sucos de frutas (maçã, abacaxi, caju, uva, entre outros). O uso da vagem da algaroba pode ser valorizado na região do semi-árido do Nordeste, em especial no Estado da Paraíba, no município de Soledade, onde se constata um alto rendimento unitário (200 kg por planta).

Dessa forma, esse trabalho trata não só as maneiras de adquirir novos bioprodutos através das vagens de algaroba, mas também de ajudar de uma forma indireta a evitar o grande volume de desmatamento que vem dizimando a cada dia a plantação da cultura das algarobeiras no semi-árido brasileiro, fazendo assim, com que os agricultores não aproveitem as tecnologias e acabem perdendo mais uma fonte de rendimento para as famílias que fazem parte da agricultura familiar do Nordeste.

## 1.2. OBJETIVO GERAL

Estudar o aproveitamento da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC), utilizando a vagem para a produção de fermentado (vinho), bioetanol, farelo e farinha enriquecida nutricionalmente (protéico, energético e mineral) para utilizar na alimentação humana e animal.

## 1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### **Enriquecimento nutricional dos resíduos das vagens de algaroba:**

- ✓ Estudar a isoterma de adsorção do farelo das vagens de algaroba antes do processo de enriquecimento nutricional, na temperatura de 30 °C.
- ✓ Estudar a cinética do enriquecimento protéico das vagens da algaroba (farelo) utilizando o microrganismo *Saccharomyces cerevisiae* na produção de um alimento nutricional (protéico, energético e mineral) para a alimentação animal.
- ✓ Verificar os efeitos de entrada (concentração de leveduras e temperatura) sobre os efeitos de respostas (açúcares redutores totais, proteína e aumento protéico).

### **Produção da bebida fermentada utilizando as vagens de algaroba:**

- ✓ Produzir uma bebida fermentada das vagens de algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.
- ✓ Estudar a cinética da fermentação alcoólica para a produção de fermentado (vinho), utilizando a algaroba.
- ✓ Verificar os efeitos das variáveis de entrada concentração do percentual de leveduras e sólidos solúveis totais sobre as variáveis respostas: produtividade (g

$L^{-1} h^{-1}$ ); percentual de rendimento teórico ( $Y_p/s$ ); percentual de rendimento em biomassa ( $Y_x/s$ ); e, percentual de conversão para o processo de produção do fermentado.

- ✓ Caracterizar físico-quimicamente o fermentado produzido pela fermentação alcoólica.

### **Produção do bioetanol pelas vagens de algaroba:**

- ✓ Produzir o bioetanol do caldo produzido (fermentado) das vagens de algaroba.
- ✓ Analisar o destilado (álcool etílico hidratado), concentração de etanol, pH, acidez total, massa específica, condutividade elétrica.
- ✓ Avaliar as concentrações dos produtos para confrontar com a legislação em vigor.

### **Produção do bolo através dos resíduos (farinha) da algaroba:**

- ✓ Desenvolver, do resíduo da vagem após a extração do caldo, uma farinha e testar a mesma num produto alimentício (bolo).
- ✓ Realizar análises físico-químicas e sensoriais do bolo e da farinha, a fim de estabelecer os padrões às normas de acordo com as leis vigentes.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

## CAPÍTULO 2

Created with



**nitro** PDF<sup>®</sup>

**professional**

download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

## CAPÍTULO 2

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem a finalidade de apresentar uma revisão sobre a algarobeira, sua taxonomia e importância das vagens da algarobeira no contexto sócio-econômico para produção de bioprodutos (fermentado, enriquecimento nutricional, bioetanol e de bolo da farinha da algaroba).

#### 2.1. Algaroba (*Prosopis juliflora* (Swartz) D.C.)

A algarobeira (Figura 1) é uma leguminosa arbórea, não oleaginosa, da família *Mimosaceae* (*Leguminosae*, subfamília *Mimosoideae*), pertencente ao gênero *Prosopis*. O desenvolvimento evolucionário das espécies de algaroba do gênero *Prosopis* originou-se no continente africano (África Tropical), onde persiste a *P. africana* e sua migração para o continente americano ocorreu quando estes continentes eram ligados, envolvendo diferentes espécies adaptadas à dispersão a curta distância, mas de difusão efetiva endozóica, através de pássaros e mamíferos (LIMA & MARCONDES, 2002).



**Figura 1.** Árvore de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) D.C.)

Segundo Silva et al. (2002) a espécie *juliflora* ocorre naturalmente no México, América Central e norte da América do Sul (Peru, Equador, Colômbia e Venezuela). Sua utilização é bastante variada, vai desde a produção de madeira e reflorestamento, bem como, de carvão vegetal, álcool, melão, apicultura, alimentação animal, podendo assim, ser considerada uma cultura de valor social e econômico.

A algaroba (*Prosopis juliflora* SW D.C). foi introduzida no Brasil há mais de 50 anos, sendo bem difundida no Nordeste, principalmente por se constituir em uma das raras espécies capazes de possibilitar aos animais e ao homem subsídios necessários para driblar o fenômeno adverso e periódico da seca (SILVA et al., 2002).

No Nordeste do Brasil, a *Prosopis juliflora* é encontrada em populações cultivadas e subespontâneas. Sua introdução no país ocorreu a partir de 1942 em Serra Talhada, PE, com sementes procedentes de Piura, Peru (AZEVEDO, 1960). A partir daí, sua expansão para os demais estados da federação ocorreu através de regeneração natural e plantios (LIMA, 1987). Além disso, merece especial atenção o fato da sua disseminação no Nordeste brasileiro. Lima (1987) afirma que a importância desse gênero para o semi-árido consiste em sua capacidade de se adaptar a solos e climas inóspitos; taxa de crescimento rápido; alta palatabilidade como forragem; alta produtividade; capacidade de rebrotar e resistir a podas e ao pastejo; e resistência a pragas e doenças. Atualmente, estima-se uma área superior a 500 mil hectares de área plantada, não havendo, entretanto, inventário sobre a superfície atual de algarobeiras plantadas e/ou regeneradas, ou potencialidade das áreas onde se encontram (SILVA et al., 1989).

Sua área de produtividade no Brasil é de 9.000 kg por ano de vagem, sendo a maior parte nas regiões secas do Nordeste, na qual se destaca o município de Soledade, PB, Fazenda Experimental de Pendência, onde se pode constatar o alto rendimento unitário que é de 200 kg por planta (FIGUEIREDO, 1975).

### 2.1.1. Características agronômicas

A algaroba, pela sua adaptação às condições semi-áridas do Nordeste e pelos seus múltiplos usos, inclui-se como alternativa agronômica já comprovada (SOUZA & TENÓRIO, 1982). Del Valle et al. (1983) afirmam que a velocidade de crescimento e a

adaptação em solos áridos e semi-áridos, mesmo com baixa pluviosidade anual, são razões suficientes para o investimento nesta espécie.

A algarobeira cresce em condições diferentes de solo, desde solos rochosos, arenosos a salinos, tendo também excelente desenvolvimento em solos ricos em nutrientes minerais, apresentando boa produção de vagens (NOBRE, 1982). Quanto à precipitação, apresenta bom desenvolvimento em locais com 300 até 500 mm anuais de pluviosidade e melhor se adapta à temperaturas superiores aos 20 °C (SILVA et al., 1989). Além disso, relata-se a capacidade dessa arbórea em restabelecer a fertilidade e produtividade de solos degradados, talvez pela sua capacidade de associação simbiótica com *Rhizobium* (FRANCO et al., 1988).

Em geral, as algarobeiras que vegetam no Nordeste do Brasil, apresentam ramos ascendentes, espinhos ou inermes, espinhos geminados, flores amarelo-esverdeadas agrupadas em inflorescências, em racimos em forma de espigas. São bissexuais, actinomorfas, apresentando cinco sépalas, cinco pétalas e dez estames. Os frutos são de coloração amarelo-palha (Figura 2), em forma de lomento drupáceo, casualmente falcado, retos, indeiscentes, com 10 a 40 cm de comprimento, 15 a 20 mm de largura e 4 a 5 mm de espessura contendo, em média, 17 sementes (LIMA, 1987).



**Figura 2.** Folhas, frutos verdes e maduros da algarobeira no município de Cuité, PB



Normalmente, reflorestadores e agricultores têm plantado algarobeiras com o principal objetivo a produção de vagens para a alimentação de ruminantes e produção de farinha.

Uma das características mais notáveis, e que por isso, faz da algaroba objeto de estudo é a época da frutificação. Em geral, os pontos de máxima floração e posterior frutificação, em regiões tropicais, encontra-se na primavera do mês de setembro à novembro, quando também se observam menores precipitações (LIMA, 1994). Segundo o mesmo autor, ainda ocorre outro período de frutificação, menor que o citado, entre os meses de abril e julho.

A produção anual de vagem *in natura* no Nordeste brasileiro pode variar de 0,6 a 1,1 milhão de toneladas, sendo que sua produção se concentra inteiramente nessa região (SILVA et al., 2002).

### **2.1.2 - O farelo de vagem de algaroba e sua importância nutricional**

O valor nutritivo de um alimento depende, fundamentalmente, da quantidade de nutrientes que é destinado ao animal, do consumo e digestibilidade dos mesmos (BERCHIELLI et al., 2005).

A vagem de algaroba, constituída de 58% de pericarpo, 23,1% de casca de semente e 13,9% de sementes (DEL VALLE et al., 1983); é comumente utilizada na forma de farelo. A utilização do farelo é recomendada, pois neste processo, além da incorporação de todos os componentes da vagem tornando-os mais susceptíveis ao ataque de enzimas e microrganismos do trato gastrintestinal – favorece o controle de possíveis fatores antinutricionais termolábeis; reduz-se o ataque de insetos no armazenamento; agrega-se valor ao produto e eliminam-se os casos de perfuração intestinal em ruminantes (SILVA et al., 2002). O farelo de vagem de algaroba (FVA) é obtido pela secagem das vagens, a temperaturas que variam entre 60 e 80 °C, e posterior moagem (SILVA et al., 2002).

Gomes (1987), após analisar a vagem de algaroba, concluiu que ela é composta, em média, por 12,93% de proteína bruta (PB), 4,06% de extrato etéreo (EE), 19,08% de fibra bruta (FB), 43,16% de extratos não nitrogenados (ENN), 3,75% de matéria mineral (MM) e 17,02% de umidade. Já Stein (2002), avaliando o próprio FVA,



encontrou os seguintes resultados: 8,34% de PB, 25,26% de fibra em detergente neutro (FDN), 18,89% de fibra em detergente ácido (FDA), 3,464 Mcal de energia bruta (EB), 0,33% de cálcio e 0,34% de fósforo.

Silva et al. (2001), além de mencionarem a excelente palatabilidade da algaroba, apresentam dados interessantes sobre sua composição. Segundo os mesmos, a vagem de algaroba apresenta de 25 a 28% de glicose, 11 a 17% de amido, 7 a 11% de proteínas, 14 a 20% de ácidos orgânicos, pectinas e demais substâncias.

Após análise detalhada desse fruto, são diversos os autores que recomendam sua utilização na alimentação de ruminantes, em substituição ao milho, e como componente adicional à dieta (TALPADA & SHUKLA, 1988; NOBRE, 1982; SILVA et al., 1982; RAVIKALA et al., 1995).

Trabalho realizado por Silva (2002) mostrou valores bastante significativos do ponto de vista nutricional, tendo em vista os índices de proteínas e carboidratos, conforme observa-se na Tabela 1 os valores das determinações analíticas do resíduo da algaroba.

**Tabela 1.** Resultados obtidos nas determinações analíticas do resíduo de algaroba

Nutrientes	Valor médio
Carboidratos (%)	72,2430
Proteínas (%)	6,8450
Lipídios (%)	1,5440
Minerais (%)	2,8410
Umidade (%)	11,5270
Acidez (%)	6,8450
Energia (Kcal 100 g <sup>-1</sup> )	350,2480

Fonte: Silva (2002)

### 2.1.3. Farinha de algaroba

Segundo Figueiredo et al. (2004), a associação da farinha de algaroba com a farinha de arroz ou mesmo griz de milho, quando são submetidas ao processo de extrusão, concedendo assim, um bom produto, oferecendo uma boa qualidade ao alimento e a sua qualidade nutricional.

Silva et al. (2007) trabalharam os aspectos tecnológicos da farinha integral de algaroba para produtos de panificação e comprovaram que a farinha de algaroba pode

ser obtida após as operações de secagem, fragmentação e o peneiramento das vagens de algaroba.

#### **2.1.4. Digestibilidade**

As vagens da algarobeira fazem parte dos alimentos usados pelo homem desde a pré-história, nas regiões onde a planta é nativa. São palatáveis, aromáticas lembrando baunilha, e doces em função do elevado teor de sacarose, que pode chegar a 30%. Sua proteína é de qualidade e digestibilidade razoáveis equiparando-se às da cevada (DEL VALLE et al., 1983).

A algarobeira é uma leguminosa que, no Nordeste do Brasil, frutifica no período seco. Os frutos, ao cair das árvores, são consumidos pelos animais diretamente no pasto e/ou colhidos e armazenados. Porém, a ingestão de algaroba em quantidades excessivas pode ocasionar o desenvolvimento durante a mastigação e ruminação, movimentos involuntários da língua, salivação profusa, a doença “cara torta” em bovinos e caprinos. Embora ainda não esteja esclarecida completamente a etiologia dessa doença, é possível que alcalóides presentes na algaroba sejam a causa dos distúrbios neurológicos observados nos animais acometidos de cara torta. Vale ressaltar, no entanto, que estas substâncias podem ser produzidas por fungos presentes na algaroba (HABERMEHL, 1996).

Os sinais clínicos, mais evidentes durante a ruminação, são característicos de uma insuficiência dos nervos cranianos. Observa-se relaxamento da mandíbula, torção da cabeça dificuldades para deglutir e atrofia dos masséteres. Mastigação continuada, hiperexcitabilidade e disfagia. Além disso, atonia ruminal, anemia, edema submandibular, e emagrecimento progressivo são, também, observados. Os bovinos apresentam salivação, emagrecimento e tremores dos lábios, da mandíbula e da cabeça, principalmente durante a mastigação, o que evidencia debilidade muscular da mastigação. Nas necropsias observam-se diversos graus de desnutrição e atrofia dos músculos da mastigação. Em bovinos não têm sido descritas lesões histológicas que justifiquem os sinais clínicos (TABOSA et al., 2000).

Para Tabosa et al. (2000) a enfermidade da cara torta seja causada pela ingestão de vagens de algarobeira é possuidora de um fator determinante e/ou predisponente de ordem tóxica e/ou metabólica. Estudando a viabilidade biológica e econômica da substituição do farelo de trigo pela vagem de algaroba triturada (VAT) em diferentes proporções, na alimentação de vacas em lactação. O autor comenta as diferenças de custo que foram devido a variação das quantidades e de preços adotados de outros componentes da ração, já que a algaroba tem amplas condições de contribuir de maneira decisiva e econômica para melhoria suplementar dos rebanhos.

Talpada & Shukla (1988), avaliando a digestibilidade e balanços de nutrientes, concluíram que não há diferença na energia digestível consumida entre os níveis de utilização da VAT. Foi observado um balanço negativo de fósforo, indicando que, em níveis altos (30%), deve-se suplementar este nutriente para os animais. Ainda neste experimento, foi observada uma tendência de aumento na digestibilidade da FB, sendo os outros coeficientes não significativamente diferentes entre os tratamentos.

Quando quebradas em pedaços pequenos e torradas, as vagens, depois de moídas, dão origem a um pó que pode ser usado como substituto (total ou parcial) do café (TALPADA & SHUKLA, 1988). Em virtude da falta de parâmetros para seu cultivo, dados relativos à produtividade são escassos e variam de 2 a 15 toneladas de vagem por hectare, tomando-se, como média, 5 toneladas por hectare. As que são colhidas destinam-se a produção de rações podendo substituir o milho. Durante a estocagem e o manuseamento, as vagens podem apresentar severos problemas de infestação o que acarreta desvalorização do produto.

Barros & Queiroz Filho (1982), em pesquisas com carneiros, utilizaram vagem de algaroba em substituição ao melaço, em dietas à base de farelo de algodão, melaço, uréia e capim-elefante e não observaram efeitos sobre a digestibilidade da matéria seca, proteína bruta e energia bruta. Nobre (1982) evidenciou maior eficiência de produção de leite ao empregar a vagem de algaroba triturada em substituição, em até 60%, ao farelo de trigo na dieta de vacas em lactação, assim como Silva et al. (1982) observaram desempenho semelhante no ganho de peso de bovinos de corte em confinamento alimentados com dietas contendo até 100% de vagem de algaroba triturada em substituição ao farelo de trigo.

### 2.1.5. Trabalhos sobre o aproveitamento do farelo e da farinha de algaroba

Silva et al. (1982) analisaram a caracterização físico-química e microbiológica dos farelos para avaliar o desempenho de bovinos de corte em confinamento, substituindo em até 100% o farelo de trigo pela vagem de algaroba triturada, não observaram diferenças significativas entre os tratamentos com relação a ganho de peso, porém a dieta contendo 100% de vagem de algaroba triturada foi mais viável economicamente.

Silva et al. (1982) também observaram a composição da farinha de algaroba, encontrando os seguintes resultados: 390,00 mg por 100 g de cálcio; 749,00 mg por 100 g de fósforo; 173,00 mg por 100 g de magnésio; 11,00 mg por 100 g de ferro; 0,20 mg por 100 g de zinco; 1,20 mg por 100 g de sódio; 0,66 mg por 100 g de potássio e 0,52 de sílica mg por 100 g.

Figueiredo et al. (2004) pesquisaram a composição da farinha da algaroba e observaram a concentração de fósforo encontrada, que foi de 140 mg por 100 g como também de Cálcio que foi de 410 mg por 100 g, Magnésio no valor de 150 mg por 100 g e o teor de proteína 5,58 mg por 100 g. Esses mesmos autores, estudaram também a produção de expandidos à base de farinha mista de algaroba e arroz e de algaroba e milho, e observaram que para misturas de farinhas de algaroba com arroz na proporção de 1:1, e de algaroba com milho na mesma proporção, processadas pelo processo de extrusão, com o objetivo de elaborar expandidos de farinhas pré-gelatinizadas dessas misturas, a qualidade das farinhas dos extrusados obtidos indicam um potencial de uso das mesmas como cereal matinal, ou como insumo no preparo de outros alimentos.

Stein (2002) avaliou os métodos para determinação da digestibilidade aparente utilizando o farelo da vagem de algaroba para alimentação de equinos, e confirmou que o FVA pode substituir em até 100% a ração do milho desintegrado com palha e sabugo em rações para equinos adultos, sem afetar o consumo de matéria seca e a digestibilidade dos nutrientes da matéria orgânica e proteína bruta.

Silva (2002) estudou a avaliação nutricional dos resíduos das vagens de algaroba após a extração do caldo para fabricação de aguardente e observou a do carboidrato que é de 72,24%, proteína 6,84%, lipídios 1,54% e minerais 2,84%. O mesmo autor também observou os valores médios dos nutrientes das vagens com 11,52% de umidade e encontrou acidez 6,84, bem como o valor energético de 350,24 kcal por 100 g.

Gomes (1987), após analisar os resíduos de algaroba, concluiu que ela é composta, em média, por 12,93% de proteína bruta (PB), 4,06% de extrato etéreo (EE), 19,08% de fibra bruta (FB), 43,16% de extratos não nitrogenados (ENN), 3,75% de matéria mineral (MM) e 17,02% de umidade.

## 2.2. Fermentação semi-sólida

As tentativas para o aproveitamento dos resíduos das vagens de algaroba na agroindústria já vem de alguns anos, porém com pouca ênfase que se deve ter com relação a algaroba. Inicialmente foi estudado o aproveitamento de dejetos pelo crescimento de microrganismos nesse material, seguido da recuperação da biomassa resultante, visando utilizá-la na ração animal como fonte de proteínas. Esse conceito se estendeu as pesquisas sobre outros subprodutos (bagaços, resíduo do processamento de alimentos e de indústrias de papel e celulose) que serviriam de substratos para crescimento de outros microrganismos (DETROY & HESSELTINE, 1978).

A fermentação semi-sólida (FSS), também chamada de fermentação sólida ou em estado sólido, tem se destacado nos estudos e avanços obtidos no aproveitamento destes resíduos. De um modo geral, a FSS é um processo microbiano que se desenvolve na superfície de materiais sólidos, que apresentam a propriedade de absorver ou de conter água, com ou sem nutrientes solúveis. Estes materiais sólidos podem ser biodegradáveis ou não. Para a FSS, é necessário que os microrganismos cresçam com nutrientes difusíveis sob ou sobre a interface líquido-sólido (VINIEGRA-GONZALEZ, 1997).

Os trabalhos que se iniciaram a partir de então visavam à utilização de uma variedade muito grande de substratos de acordo com a tecnologia e os materiais típicos de cada país (GONZALEZ-SISO & SISO, 1996).

A tecnologia das fermentações se favoreceu em muito dos avanços no aproveitamento de resíduos, especialmente pelos reatores desenvolvidos e pelos processos de recuperação. Porém ainda restam muitos obstáculos a serem ultrapassados para a sua máxima utilização (SILVA & SASSON, 1995).

Esta fermentação se caracteriza por dois tipos: uma, em que as condições para o estado sólido são propiciadas pelo próprio substrato. Na outra FSS, o desenvolvimento

do processo se dá utilizando um suporte inerte (COUTO & SANROMÁN, 2005; MORAES et al., 2001).

A aplicação comercial da FSS pode ser dividida em dois tipos (MITCHELL et al., 2002):

- 1) Aplicações sócio-econômicas tais como: compostagem de resíduos, valorização de produtos lignocelulósicos e fibras alimentares;
- 2) Aplicações economicamente lucrativas, tais como: a produção de enzimas, ácidos orgânicos e alimentos fermentados.

### **2.2.1. Vantagens da fermentação semi-sólida**

Segundo os autores Bramorski (1997) e Lu et al. (1998) algumas vantagens da FSS sobre a FSm são listadas a seguir:

- A FSS apresenta diversas vantagens devido a seus aspectos físico-químicos, especialmente sua reduzida atividade de água e a formação de gradientes de temperatura, nutrientes e produtos. A FSS difere bastante da FSm (Fermentação Submersa), relativamente à esporulação e produção de enzimas, assim como de metabólitos secundários, bem como no modo de mistura e difusão. A heterogeneidade microscópica do substrato, outrora considerado o ponto fraco da FSS, é hoje considerado como sua principal força para o acréscimo de rendimento de produtos e por causar adequadas alterações na fisiologia microbiana. É um processo que se favorece do reduzido teor de água, gerando um processo industrial limpo, com baixos níveis de água residual, o que incorre também em economia energética, no processo de recuperação (*downstream*).
- O meio é geralmente simples, consistindo de produtos agrícolas não refinados que podem conter todos os nutrientes necessários para o crescimento do microrganismo. Isto significa que o pré-tratamento pode ser simplesmente, um cozimento com água para umidificar ou dilatar o substrato, ou a quebra do substrato na superfície para aumentar a

acessibilidade aos nutrientes internos, ou a moagem de grandes blocos de substrato para partículas menores.

- Tratamento de efluentes e disposição de resíduos é geralmente simples ou minimizado. Geralmente todo o produto é utilizado, principalmente, se é intencionado o uso como suplementação alimentar de animais.
- O custo de esterilização é reduzido, pois se aquece menos água.
- O espaço ocupado pelo equipamento de fermentação é pequeno, considerando-se o rendimento do produto. Utiliza-se menor quantidade de água e o substrato é concentrado.
- Como a maioria das bactérias requer altos níveis de mistura líquida, a FSS exclui, ou reduz, sensivelmente, o problema da contaminação bacteriana.
- O meio é facilmente aerado, desde que haja espaço entre as partículas do substrato;
- A solubilidade e difusão de oxigênio e outros gases, são maiores em FSS.
- O resíduo remanescente possui um volume reduzido e este resíduo não apresenta condições para o desenvolvimento de patógenos.
- Geralmente, o único componente necessário a ser adicionado ao meio é água, embora, ocasionalmente, outros nutrientes como fonte de nitrogênio ou minerais possam ser adicionados.
- Torna-se possível a obtenção de esporos que são impossíveis de se obter em cultura submersa.
- Menor custo dos equipamentos.
- Exige menor demanda de energia.

### 2.2.2. Desvantagens da FSS

Existem algumas desvantagens da FSS, que são:

- Em operações de grande escala, o calor gerado pelo metabolismo microbiano deve ser removido, o que se torna mais difícil na FSS que no processo submerso.
- A transferência de oxigênio entre as partículas do meio pode se tornar um problema, quando se utiliza granulometria do substrato muito elevado.
- Medidas de pH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e cálculo de rendimento de produto são mais complexos.



### 2.3.3. Microrganismos

Muitos microrganismos foram utilizados em todas as áreas da biotecnologia, tendo a maioria se concentrado em aplicações na agricultura, saúde, energia e meio ambiente (VERSTRAETE et al., 1996). As aplicações da biotransformação dos resíduos e subprodutos (sólidos e líquidos) trouxeram como conseqüências à melhoria do saneamento do ambiente, o estabelecimento de indústrias secundárias e melhoria de estrutura de preços.

Segundo Pandey (2003), tanto microrganismos em seu estado natural como na forma de culturas puras individuais ou mistas podem ser utilizados no processo da fermentação semi-sólida.

As leveduras foram os primeiros organismos descobertos capazes de crescer na ausência de oxigênio e a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é o microrganismo mais freqüentemente utilizado na produção de etanol. Tão importante quanto à escolha do microrganismo é a escolha da condução do processo. A literatura tem registrado inúmeros modelos de biorreatores para a produção biotecnológica de etanol e atualmente o uso de células livres é o método mais empregado (LIMA, 2002).

### 2.3.4. Biorreatores

O biorreator é utilizado no processo de fermentação, onde a matéria-prima, sob condições satisfatórias, é convertida em um produto desejado. Maximizar a taxa de formação e o rendimento dos produtos dentro do biorreator é uma das metas mais importantes no aperfeiçoamento do processo de FSS. Em contraste com os sistemas de FSm (Fermentação Submersa), os biorreatores da FSS, não alcançaram ainda um alto grau de desenvolvimento, devido aos problemas associados ao meio sólido, como baixa transferência de energia e difícil manuseio do material (ROBINSON & NIGAM, 2003). Correia (2004) cita vários tipos de biorreatores utilizados em escala de laboratório, tais como: béqueres, garrafas de cultura, bandejas não perfuradas, tanques, placas de Petri, além de sacos feitos de filme microporoso; no entanto, alguns estudos utilizam bandejas perfuradas, escolhidas por proporcionarem boa aeração durante o processo fermentativo. Mordocco & Noprahtna (2004) mostraram outros tipos de biorreatores



empregados em FSS, tais como: biorreator em bandeja, em leito fixo, leito fluidizado ar-sólido, tambor rotativo, tambor agitado horizontalmente e biorreator agitado verticalmente.

## **2.4. Influências das variáveis no processo de fermentação semi-sólida**

### **2.4.1. Sólidos solúveis totais**

O teor de sólidos solúveis totais (SST), expresso como percentagem do peso da matéria fresca, apresenta alta correlação positiva com o teor de açúcares e, portanto, geralmente é aceito como uma importante característica de qualidade (AULENBACH & WORHINGTON, 1974). Assim, o SST tem sido utilizado como indicador da qualidade de vários frutos, incluindo melão (GRANJEIRO et al., 1999), goiaba (NATALE et al., 1995) e maçã (VENTURA et al., 1998) dentre outros. De acordo com Pinheiro et al. (1984), em alguns frutos, o SST é de grande importância, tanto para o consumo “in natura” como para o processamento industrial, visto que elevados teores desses constituintes na matéria prima implicam em menor adição de açúcares, menor tempo de evaporação da água, menor gasto de energia e maior rendimento do produto, resultando em maior economia no processamento.

### **2.4.2. pH**

Sendo o pH uma variável importante no processo, há valores de pH mínimo, ótimo e máximo para o desenvolvimento de cada microrganismo. Geralmente os fungos preferem pH baixo e as bactérias pH próximos da neutralidade (PERAZZO NETO, 1999). De acordo com Franco et al. (1996) os valores de pH ótimo para a multiplicação da *Saccharomyces cerevisiae* é entre 4 e 5.

### 2.4.3. Temperatura

De acordo com Hottinger et al. (1987), a elevação da temperatura do meio de cultivo de *Saccharomyces cerevisiae* de 27 para 40 °C promove um aumento no acúmulo de trealose e, com isso, a levedura adquire termotolerância. Segundo Schmidell et al. (2001), a grande quantidade de calor produzida durante o processo fermentativo pode estar associada às atividades metabólicas dos microrganismos e à altura da camada de substrato.

### 2.4.4 Atividade da água

A presença de água no produto pode ser medida de diferentes formas, mas nem todos os métodos indicam a disponibilidade da água para os microrganismos, uma vez que nem toda água está igualmente disponível. Atividade de água ( $a_w$ ), quantidade de água não ligada e que está à disposição dos microrganismos, é definida como a razão entre a pressão de equilíbrio de vapor do substrato em relação à água pura, à mesma temperatura. A atividade de água influencia o desenvolvimento microbiano e os processos bioquímicos, tendo por isso, cada microrganismo uma faixa de atividade de água adequada para que possa efetuar suas atividades metabólicas (RAMANA et al., 1993). Segundo Robinson & Nigam (2003) as bactérias suportam valores de atividade de água de até 0,75, as leveduras toleram valores de até 0,62 a 0,64 e os fungos filamentados crescem rapidamente com atividade de água inferior a 0,85 e até 0,61.

A umidade é considerada ótima no substrato saturado, e varia de 30 a 85% dependendo do substrato. As principais causas da variação de umidade é a evaporação devido ao calor metabólico e hidrólise do substrato, e produção de água metabólica (DORTA et al., 1994).

Christensen & Kaufmann (1974) estudaram diversos produtos de origem vegetal e verificaram a atividade de água mínima para a sobrevivência dos principais fungos sob condições ótimas de temperatura (26 a 30 °C). Os valores obtidos para os microrganismos estudados se encontram no Quadro 1.

Quadro 1. Atividade de água ( $a_w$ ) mínima para sobrevivência de fungos

Fungos	Atividade de água
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,61
<i>Aspergillus restrictus</i>	0,70
<i>Aspergillus halophilicus</i>	0,68
<i>Aspergillus glaucus</i>	0,73
<i>Aspergillus candidus</i>	0,80
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0,80
<i>Aspergillus flavus</i>	0,85
<i>Penicillium</i> (diversas espécies)	0,85

#### 2.4.5 Modelos matemáticos para ajuste da isoterma

Para os ajustes dos dados experimentais das isotermas é necessário utilizar modelos matemáticos para realizar a correspondência entre teor de umidade do produto analisado ( $X_b$ s) e atividade de água ( $a_w$ ), fornecendo dados assim como a água absorvida na monocamada molecular ou o calor de sorção para as camadas subseqüentes. Existe vários modelos matemáticos, dentre eles os mais difundidos são: GAB, BET e HANDERSON.

##### 2.4.5.1 Modelo de BET

Equação de BET (Brunauer–Emmer–Teller) é o modelo mais conhecido e usado, fornecendo um bom ajuste aos parâmetros,  $X_m$ ,  $C_{Bet}$  e  $n$  tem sido usado com sucesso para atividade de água até valores em torno de 0,5 (PARK e RAMIREZ, 1989). O modelo tem sido utilizado para uma grande variedade de alimentos situados nos intervalos correspondentes a  $0,05 < a_w < 0,6$ .

##### 2.4.5.2 Modelo de GAB

A equação de GAB (Guggenheim–Anderson–de Boer) de três parâmetros é um reforço das teorias de Bet e Langmuir. Tem sido sugerida por muitos pesquisadores, a mesma está sendo utilizada em vários laboratórios de alimentos nos EUA e na comunidade Européias como padrão de descrição e comparação de isotermas (PARK e RAMIREZ, 1989).

#### 2.4.6. Trabalhos sobre fermentação semi-sólida

Almeida et al. (2009) analisaram a bioconversão do mandacaru para produção de bioprodutos, e verificaram que durante a fermentação semi-sólida do mandacaru o fungo do *Aspergillus niger* teve um aumento protéico de 76,9% no tempo de 72 h de fermentação na temperatura de 30 °C a uma espessura da camada de 1 cm.

Campos (2008) pesquisou o enriquecimento nutricional da palma forrageira e observou que o teor máximo de proteína bruta alcançado no biorreator de tambor rotativo foi de 43,27%, obtendo um aumento protéico de 6,44 vezes utilizando a levedura *Sacharomyces cerevisiae*. O mesmo autor também observou que os melhores resultados para obtenção de proteína bruta e enriquecimento protéico foi no tempo de 8 h fermentação em bandejas e 4 h para fermentação em tambores rotativos.

Holanda et al. (1996) estudaram o enriquecimento protéico de pendúculo de caju com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para alimentação animal e observou que a proporção de 10% de levedura na biomassa do pendúculo do caju proporciona um teor protéico acima de 20% do material fermentado, o mesmo autor conclui que o tempo de fermentação necessário para conversão protéica dos carboidratos do pedúnculo de caju é inferior a 24 h.

Oliveira (2007) trabalhou com o enriquecimento nutricional por bioconversão de resíduos agroindustriais para utilização na alimentação animal e observou que os melhores valores da concentração de proteína bruta para os resíduos foram no tempo de 48 h utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

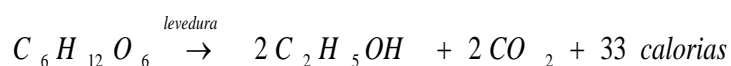
#### 2.7. Fermentado da fruta

A Legislação Brasileira sobre bebidas estabelece que a concentração máxima de metanol permitida nos vinhos de mesa é de 0,5 g por 100 mL de álcool anidro. Durante a fermentação alcoólica, as leveduras produzem etanol, dióxido de carbono e um grande número de componentes secundários, sendo os mais abundantes os álcoois superiores, porém, muitos compostos presentes em menores quantidades também desempenham um

papel importante no desenvolvimento do sabor das bebidas (LEHTONEN & JOUNELA-ERIKSSON, 1983).

De acordo com Torres Neto et al. (2006b), tanto os vinhos como os fermentados de frutas dividem-se em três classes para a quantidade de açúcares residuais. Primeira classe apresentam-se os vinhos do tipo seco, com até 5 g L<sup>-1</sup>, para a segunda classe, encontra-se na faixa de 5 e 20 g L<sup>-1</sup> são os do tipo meio seco e a última classe dos vinhos suaves com mais de 20 g L<sup>-1</sup>.

No processo da fermentação alcoólica de açúcares, os principais produtos formados são álcoois etílicos e gás carbônico, de acordo com a reação a seguir (AQUARONE et al., 1983):



Recentemente, Mamede & Pastore (2006) avaliaram o comportamento do crescimento e a produção de compostos voláteis de aroma em mostos de uvas após a fermentação por *Saccharomyces cerevisiae* e *Kloeckera apiculata* e identificaram e quantificaram acetato de etila, acetato de isoamila e isobutanol. Eles concluíram que o mosto fermentado pela *Kloeckera apiculata* apresentou concentrações dentro de limites aceitáveis para vinho; diferentes leveduras como *Kloeckera*, *Candida*, *Hansenula*, *Hanseniospora* e *Pichia* entre outras, em conjunto com a *Saccharomyces cerevisiae* podem iniciar a fermentação do mosto de uva e dar origem ao vinho; embora as leveduras que não são do tipo *Saccharomyces cerevisiae* participem apenas do início da fermentação, elas exercem grande contribuição para a qualidade do aroma do vinho pela capacidade de produzir ésteres e álcoois em concentração superior às leveduras *Saccharomyces cerevisiae*.

O fermentado é uma bebida obtida da fermentação alcoólica do caldo de qualquer fruta que apresente na sua composição açúcares fermentáveis. Existe a necessidade de se desenvolver novos fermentados para diminuir a perda de frutas e aumentar a renda do agricultor, como o fermentado de caju, pois a castanha é mais valorizada comercialmente do que o pedúnculo (TORRES NETO et al., 2006b).

Bebidas alcoólicas fermentadas são produzidas e consumidas em ocasiões comemorativas, por indígenas da Amazônia e dos Andes, empregando denominações

diferenciadas como “caçuma” e “chicha”, para bebida fermentada de pupunha e milho (mandioca ou outra fonte amilácea), respectivamente (ANDRADE et al., 2003).

Teoricamente, qualquer fruto ou vegetal comestível, que contenha umidade suficiente, açúcar e outros nutrientes para as leveduras, pode servir como matéria-prima para a produção de vinhos. Porém, os vinhos preparados a partir de outros frutos, como maçãs, groselhas, não devem se chamar vinho, mas devem se referir à matéria-prima de que procedem (VOGT & JAKOB, 1986).

A maioria das frutas utilizadas para processamento de vinho apresenta baixo teor de açúcar e elevada acidez no pico da maturação, portanto devem ser corrigidas com açúcar e/ou água para se obter um produto com teor alcoólico desejável. Para a produção do vinho de abacaxi, por exemplo, foram realizadas correções de açúcar para obtenção de um produto com grau alcoólico de 13,0% v v<sup>-1</sup>. O suco de abacaxi apresentou um pH em torno de 4,2 (valor ótimo para este tipo de fermentação) não sendo necessária a neutralização de uma acidez excessiva. Em alguns vinhos, antes de pasteurizar, foi realizado um aquecimento a 65 °C por 15 e 30 min para melhorar a clarificação. A fermentação foi realizada em ambiente anaeróbico, a uma faixa de temperatura que variou de 20 a 25 °C. Em um estudo com bebidas alcoólicas de maçã, o suco apresentou teor de sólidos solúveis (°Brix) de 9,4 a 14,0, dependendo da variedade, e o vinho apresentou um teor de álcool de 1,0 a 3,5% de peso. O mosto foi inoculado com 5,0% de levedura ativa de *Saccharomyces cerevisiae* e fermentado (PENA & MENEZES, 1994).

## 2.8. Trabalhos sobre fermentados de frutas

Barwal (1991) em um estudo com bebidas alcoólicas de maçã, encontrou que o suco continha teor de sólidos solúveis (°Brix) de 9,4 a 14,0, dependendo da variedade, e o vinho apresentou um teor de álcool de 1,0 a 3,5% de peso, o autor relatou que o mosto foi inoculado com 5,0% de levedura ativa de *Saccharomyces cerevisiae* e fermentado completamente a 25 °C. A fermentação foi estabilizada pela filtração e pasteurização, quando o teor de sólidos solúveis chegou a 6 °Brix.

Asquieri et al. (2008) analisaram as características físico-químicas e sensoriais do fermentado de jaca, e observaram que houve uma boa aceitação por parte dos provadores, e concluiu que a partir da aceitabilidade da bebida, esta tecnologia pode ser uma das alternativas no desenvolvimento de uma nova bebida para agroindústrias. O mesmo autor também observou que o extrato seco encontrado para o fermentado de jaca foi de 96,8 g L<sup>-1</sup>.

Corazza et al. (2001) pesquisaram a preparação e caracterização do vinho de laranja, e observaram-se uma grande semelhança no vinho de uva, nas absorções em 255 e 264 nm, indicando inclusive os baixos níveis de compostos fenólicos ou outras substâncias aromáticas.

Lopes et al. (2005) produziram vinho do fruto da palma forrageira e observou que as faixas de pH, para todo o processo de fermentação, praticamente não apresentaram alterações, e os ácidos totais encontravam-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Santos et al. (2005) pesquisaram a elaboração e análise sensorial do fermentado de acerola e observaram que o fermentado de acerola (*Malpighia punicifolia* L.) elaborado apresentou cor, aroma e sabor característicos dos frutos da acerola, com graduação alcoólica e todas as outras características físico-químicas dentro das normas brasileiras, e verificou também, na sua produção, um teor alcoólico de 11,0 °GL.

## 2.9. Produção de etanol

Processos para a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar são bem documentados e discutidos na literatura. Nos Estados Unidos e Europa, o etanol é obtido a partir do milho e outros amiláceos que podem servir como fonte de matéria prima barata e renovável, mas do ponto de vista econômico, a cana de açúcar custa até três vezes mais que o preço do etanol brasileiro, embora seja beneficiado pelo governo americano através de subsídios para se tornar competitivo (LIMA, 2002).

O etanol, maior constituinte orgânico volátil das bebidas, em baixas concentrações tem apenas um leve odor e é um excelente solvente para materiais odoríferos. Tem um leve sabor doce que abranda o sabor ácido. O vinho desalcoholizado é muito mais adstringente do que o mesmo vinho com álcool (AMERINE et al., 1972).



O etanol é o principal componente do fermentado de fruta, sendo apenas menor do que a água. A legislação brasileira estabelece que o fermentado de fruta é a bebida com graduação alcoólica entre quatro a quatorze por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida da fermentação alcoólica do mosto de fruta sã, fresca e madura (VOLLBRECHT & RADLER, 1974).

A formação de álcoois superiores pelas leveduras ocorre através da descarboxilação de cetoácidos intermediários da biossíntese de aminoácidos seguida de redução de aldeídos pelo álcool-desidrogenase (WEBB & INGRAHAM, 1963).

Diversos fatores influenciam a formação de álcoois superiores pelas leveduras como a espécie e a linhagem (RANKINE, 1967; FAHRASMANN et al., 1985), temperatura (HOUGH & STEVENS, 1961), composição do meio (AYRAPAA, 1971); SUOMALAINEN & KAHANPAA, 1963; GILDENHUYS & SLAUGHTER, 1983).

Torres Neto et al. (2006a) afirmaram que a formação dos álcoois superiores são constituídos na derivação do processo de fermentação a partir dos aminoácidos que são constituídos durante a fermentação. As concentrações abaixo de 400 mg L<sup>-1</sup> contribui de forma significativa para o aroma do vinho, porém concentrações acima desse valor, contribuem de forma negativa para a qualidade do vinho, em função da produção de odores que são desagradáveis. Segundo os mesmos autores a legislação brasileira estabelece o limite máximo de álcoois superiores para destilados de vinho, de 0,450 g por 100 mL de álcool anidro.

## 2.10. Trabalhos sobre etanol

Marques & Serra (2004) trabalharam com a reciclagem de células na produção biológica de etanol e observaram que, com 180 g ART obtiveram um teor alcoólico final médio de 5,3 g por 100 g (cerca de 6,8% v v<sup>-1</sup>).

Gutierrez (1993) analisou a produção de álcoois superiores por três linhagens de *Saccharomyces* durante a fermentação alcoólica e observou que a *Saccharomyces uvarum* IZ-1904 apresentou a menor produção de álcoois superiores em todas as condições estudadas, enquanto a levedura de panificação apresentou teores mais elevados. Gutierrez (1993) também observou que, com o aumento da temperatura e da



concentração de sacarose ocorreu a maior produção de álcool isoamílico nas 3 leveduras.

Burkart (1952) produziu o álcool etílico por meio da destilação do extrato açucarado da algaroba. A polpa doce de algaroba representou 74% do peso do fruto. Assim, 100 kg de fruto contiveram 46,4 kg de açúcar que teoricamente dariam 27,2 L de álcool absoluto.

# MATERIAL E MÉTODOS

---

## CAPÍTULO 3

Created with



download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

## CAPÍTULO 3

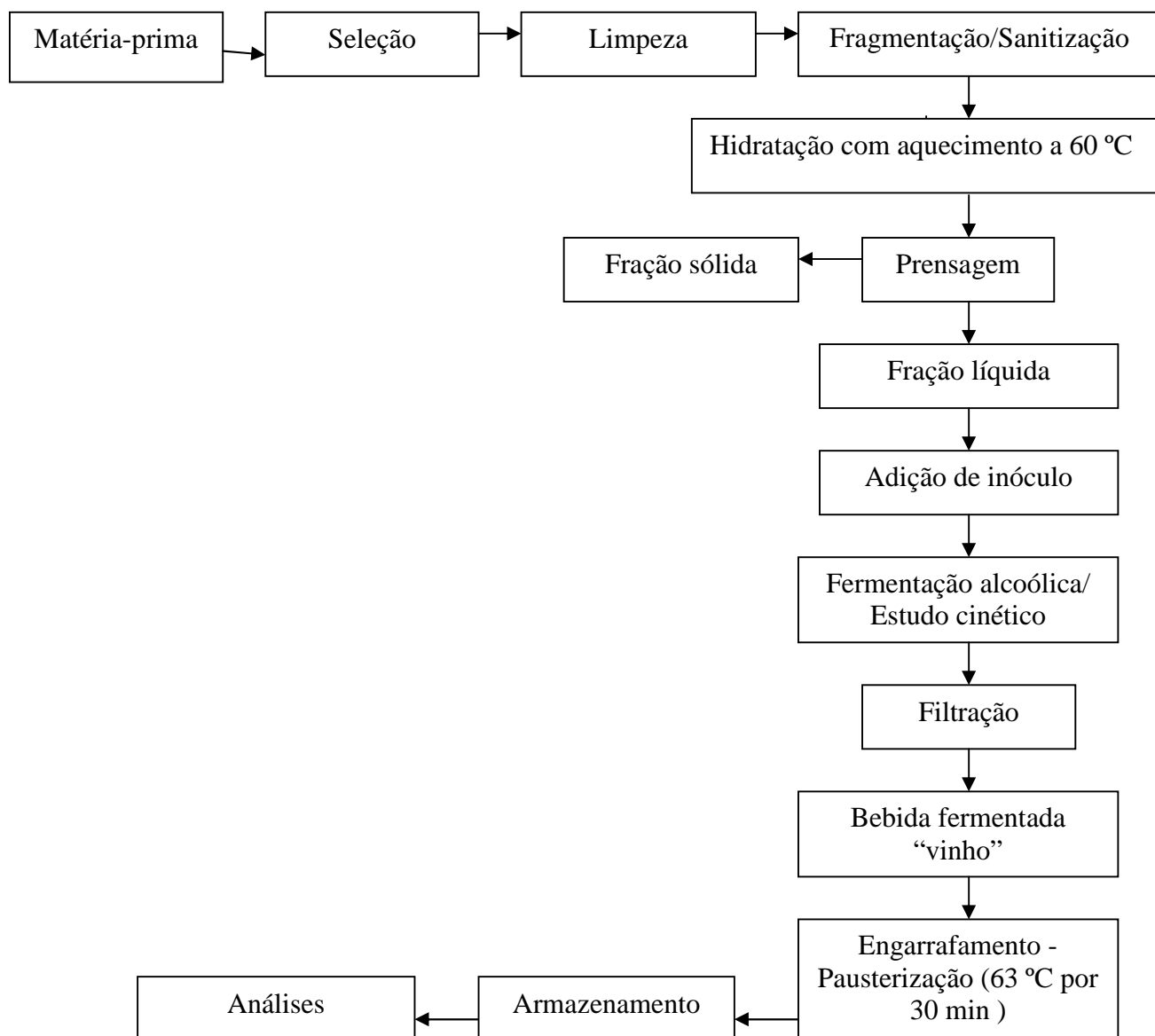
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritas as metodologias utilizadas no desenvolvimento desse trabalho, como o estudo da produção da bebida fermentada por meio da fermentação alcoólica; o estudo do enriquecimento nutricional do farelo da algaroba, através da fermentação semi-sólida, utilizando-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e o estudo cinético em todos os processos da fermentação, caracterização físico-química e sensorial da farinha da algaroba e a produção do etanol através da destilação alcoólica.

Para um melhor entendimento metodológico das pesquisas do referido trabalho, dividiu-se este capítulo em quatro itens para uma melhor compreensão dos processos: 1- fermentação alcoólica, 2- fermentação semi-sólida do farelo da algaroba, 3- caracterização físico químico e sensorial da farinha da algaroba e 4- produção do etanol através da destilação alcoólica.

Estes trabalhos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) da Unidade Acadêmica de Engenharia Química UAEQ/CCT/UFCG, Laboratório de Transferência em Meios Porosos e Sistemas Particulados da Unidade Acadêmica de Engenharia Química UAEQ/CCT/UFCG, Laboratório de Engenharia Eletroquímica da Universidade Federal de Campina Grande UAEQ/CCT/UFCG e Laboratório de Nutrição e Alimentação Animal (LNAA) do Departamento de Zootecnia – UFPB – Campus de Areia, PB.

A Figura 3 apresenta o fluxograma para obtenção da bebida fermentada de algaroba.



**Figura 3.** Fluxograma para obtenção do fermentado (vinho) de algaroba

### 3.1. Descrição do processo e obtenção do fermentado (vinho) de algaroba

#### 3.1.1. A matéria-prima

A matéria-prima contendo o substrato para o processo do fermentado foi às vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* (S.w.) D.C.). Essas vagens foram coletadas no município de Cuité, PB a 235 km de João Pessoa, PB. Na Figura 4, observa-se o local que foi coletado o material para pesquisa.



**Figura 4.** Processo de coleta das vagens de algaroba no município de Cuité, PB

As vagens foram coletadas nas imediações das árvores das algarobeiras, evitando aquelas que apresentavam algumas características indesejáveis como pragas e/ou doenças. Em seguida as mesmas foram conduzidas para o Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) para os devidos procedimentos.

#### 3.1.2. Seleção, limpeza e fragmentação

A princípio foi realizada a seleção e limpeza das vagens, que ainda apresentavam algumas características físicas que não eram desejáveis para o trabalho de

pesquisa, como o aspecto de deteriorização das vagens através de roedores e outros animais, como também palhas, folhas e outros resíduos que foram trazidos do campo.

O processo ocorreu de forma manual, deixando-as fragmentadas com pedaços que variavam de 1,5 a 2,0 cm, para que houvesse uma melhor extração do caldo de algaroba (Figura 5).



**Figura 5.** Seleção, limpeza e fragmentação das vagens de algaroba

#### **3.1.2.1. Sanitização**

Para o processo de sanitização das vagens, foi realizada a imersão do material (vagens) na solução bactericida com água clorada a 3%, por cerca de 5 min, em seguida foi realizado o enxágüe das vagens para remover os resíduos da sanitização.

#### **3.1.2.2. Hidratação com aquecimento a 60 °C e prensagem**

Para a hidratação, conforme Figura 6 (a), foi utilizada a temperatura de 60 °C com a média de 3 h, onde a princípio as vagens de algarobeira foram fragmentadas, seguida foram imersas dentro de um balde de alumínio de capacidade para 20 L de água; as vagens foram emergidas para iniciar o processo de embebição, e para que elas



fossem submetidas à hidratação apresentando posteriormente um aspecto macio para facilitar a devida extração do caldo.

O material, após fervido, foi esfriado por cerca de 30 min prensado como mostrado na Figura 6 (b), em prensa hidráulica manual, com a pressão aplicada em Kgf,  $\text{cm}^2$ , onde foi extraído o caldo de algaroba, que é a fração líquida, ou mosto para ser inoculada.



**Figura 6.** Hidratação das vagens (a) e extração do caldo das vagens de algaroba (b)

### 3.1.2.3. Planejamento fatorial

Um dos objetivos do planejamento experimental fatorial, e posterior análise de superfície de resposta, é realizar o menor número de experimentos, reduzindo custos e tempo, além de determinar a influência significativa, ou não, das variáveis de entrada sobre a (s) resposta (s), quantificando os efeitos destas variáveis para a otimização do processo.

Para esse estudo, foi utilizado o planejamento fatorial  $2^2 + 3$  ponto central, onde todas as variáveis de acordo com a Tabela 2 são quantitativas, sendo as variáveis independentes: concentração de leveduras ( $\text{g L}^{-1}$ ) e sólidos solúveis totais ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), e as dependentes: produtividade de álcool etílico ( $\text{g L}^{-1}$ ), percentual de rendimento teórico ( $\text{Yp/s}$ ), percentual de rendimento em biomassa ( $\text{Yx/s}$ ) e percentual de conversão, totalizando assim, 07 experimentos, como observado na matriz de planejamento da Tabela 3.

**Tabela 2.** Níveis reais e codificados das variáveis de entrada

Variáveis		Níveis codificados	
Variáveis	Nível (-1)	Ponto Central	Nível (+1)
Sólidos solúveis totais (%)	15	18	21
Concentração leveduras (g L <sup>-1</sup> )	10	15	20

**Tabela 3.** Matriz de planejamento fatorial 2<sup>2</sup> + 3 no ponto central, da fermentação alcoólica do caldo da algaroba.

Ensaio	Sólidos solúveis totais (%)	Concentração de leveduras (g L <sup>-1</sup> )
1	-1 (15%)	-1 (10 g L <sup>-1</sup> )
2	+1 (21%)	-1 (10 g L <sup>-1</sup> )
3	-1 (15%)	+1 (20 g L <sup>-1</sup> )
4	+1 (21%)	+1 (20 g L <sup>-1</sup> )
5	0 (18%)	0 (15 g L <sup>-1</sup> )
6	0 (18%)	0 (15 g L <sup>-1</sup> )
7	0 (18%)	0 (15 g L <sup>-1</sup> )

#### 3.1.2.4. Análises estatísticas

Para a constituição dos resultados das análises estatísticas, foram utilizados o Programa do software Statistic 5,0 e o software Origin versão 5.0, construindo o modelo matemático com curvatura a 95% de confiança para cada parâmetro cinético determinado no estudo.



### 3.1.2.5. Adição de inóculo

Foi utilizado na fermentação alcoólica para a produção do fermentado, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (fermento biológico comercial, marca *Fleischmann*), onde o mesmo encontrava-se com a umidade de 70% em base úmida. Antes da inoculação foram ajustados os caldos para as concentrações de sólidos solúveis totais de 15, 18 e 21%, e as concentrações de leveduras de 10, 15 e 20 g L<sup>-1</sup> de acordo com o planejamento fatorial aplicado.

### 3.1.2.6. Fermentação alcoólica e estudo cinético

Após a inoculação dos caldos, foi realizada a fermentação alcoólica, para a obtenção do fermentado de algaroba em biorreatores de polietileno, conforme Figura 7, utilizados para fermentação, em sete bateladas com a capacidade máxima de 3 L cada, dispostos de um sistema, de descarga no fundo do recipiente, deixando a parte da massa celular separada do fermentado no final da fermentação. A etapa do processo das análises da fermentação foi realizada no tempo zero, dando-se continuidade cada duas em duas horas até o final do experimento.

No período de 2 em 2 h foram determinados o pH, acidez total, temperatura, teor alcoólico, e sólidos solúveis. No decorrer de cada cinética foram coletadas alíquotas em torno de 35 mL que foram armazenadas no freezer a uma temperatura de -15 °C, para depois serem analisadas quanto ao teor de biomassa, açúcares redutores totais (ART) e a acidez fixa do fermentado.



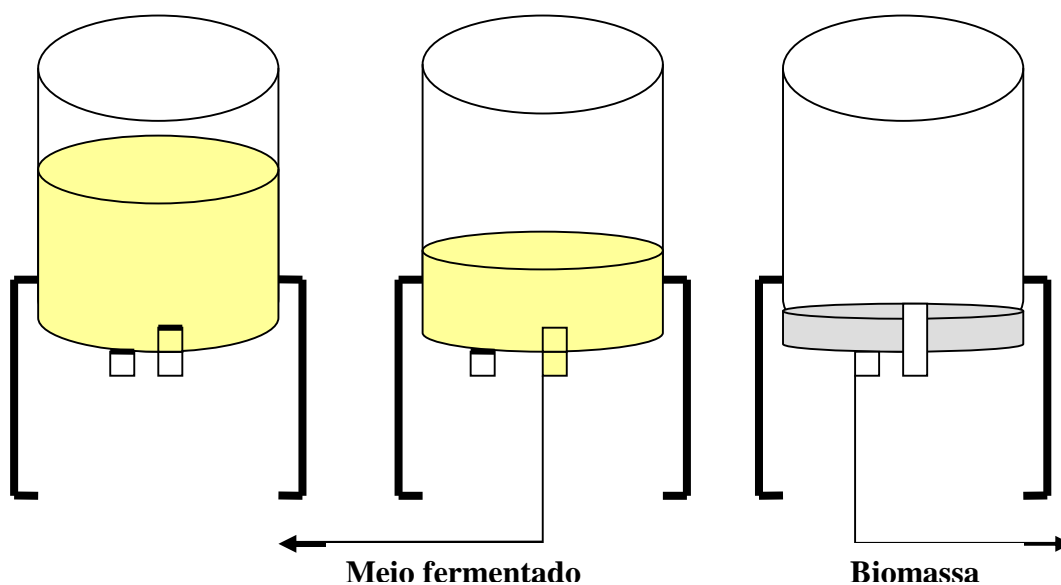
**Figura 7.** Processo de fermentação alcoólica das vagens de algaroba, através da levedura *Saccharomyces cerevisiae*

### 3.1.2.7. Estudo cinético do fermentado

No decorrer da fermentação alcoólica, foi realizado o estudo cinético para determinar as velocidades de transformações que ocorrem dentro da fermentação, acompanhando-se assim, o estudo físico-químico (pH, temperatura, °Brix e teor alcoólico), de acordo com cada experimento, no final do processo deu-se início aos estudos das variáveis de respostas de acordo com o desenvolvimento da fermentação para produtividade, rendimento teórico de álcool, rendimento em biomassa, percentual de conversão e a velocidade específica máxima de crescimento.

### 3.1.2.8. Filtração

Após o término da fermentação alcoólica foi realizado o processo da filtração do material fermentado (mosto) que se encontrava em repouso nos biorreatores, tanto o fermentado quanto a biomassa foram drenados pela parte inferior dos biorreatores, onde se localizava duas válvulas de escapes, conforme a Figura 8.



**Figura 8.** Filtração do meio fermentado e da biomassa após a fermentação alcoólica

### 3.1.2.9. Bebida fermentada (vinho), centrifugação

Ao término da fermentação alcoólica, retirou-se 1 alíquota de 50 mL para realização das análises físico-químicas do fermentado, como açúcares redutores totais, acidez volátil e fixa.

A separação do meio líquido do fermentado da massa celular, foi feita por centrifugação, conforme Figura 9, onde foi colocado o material em 04 cubas de 100 mL para ser decantado numa centrífuga da marca Excelsa II, Modelo 206 BL, com a velocidade de 3000 rpm por um período de 10 min.



**Figura 9.** Centrifugação do fermentado de algaroba para separação do mosto da biomassa

## 3.2. Cálculo de produtividade, rendimento teórico, rendimento em biomassa, percentual conversão e a velocidade específica máxima de crescimento

### 3.2. 1. Cálculo da produtividade ( $\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$ )

Para saber a quantidade de álcool produzido em um determinado tempo, em hora, foi utilizada a seguinte Equação (1).

$$\text{Produtividade } (\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}) = \frac{P(\text{g/L})}{T(\text{h})} \quad (1)$$

Em que:

P - concentração de etanol ( $\text{g L}^{-1}$ )

T - tempo de fermentação (h)

### 3.2.2. Rendimento do produto ( $Y_{p/s}$ )

Para determinar a conversão do substrato (açúcar) do fermentado em produto (etanol) foi utilizado a Equação 2.

$$Y_{p/s} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (2)$$

Em que:

S - concentração final de substrato ( $\text{g L}^{-1}$ )

$S_0$  - concentração inicial de substrato ( $\text{g L}^{-1}$ )

P - concentração final de produto ( $\text{g L}^{-1}$ )

$P_0$  - concentração inicial de produto ( $\text{g L}^{-1}$ )

### 3.2.3. Rendimento em biomassa ( $Y_{x/s}$ )

Para calcular a quantidade de biomassa formada em relação à quantidade de substrato limitante consumida, foi utilizada a Equação 3.

$$Y_{x/s} = \frac{X - X_0}{S_0 - S} \quad (3)$$

Em que:

X - concentração final de biomassa ( $\text{g L}^{-1}$ )

$X_0$  - concentração inicial de biomassa ( $\text{g L}^{-1}$ )

S - concentração final de substrato ( $\text{g L}^{-1}$ )

$S_0$  - concentração inicial de substrato ( $\text{g L}^{-1}$ )

### 3.2.4. Percentual de conversão (%)

O percentual de conversão no fermentado para produção do etanol antes da destilação, foi calculado pela Equação 4.

$$\text{Conversão (\%)} = \frac{P}{S_0 \times 0,511} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

P - concentração de etanol experimental

S<sub>0</sub> - concentração inicial de substrato (ART)

0,511 – Fator de conversão de açúcar em álcool

### 3.2.5. Determinação da velocidade específica máxima de crescimento (h<sup>-1</sup>)

Para a determinação da velocidade máxima específica de crescimento da biomassa foi utilizado o software Origin 7.0, empregando-se o recurso de regressão linear, conforme. Equação 5.

$$\log [X] = \mu \cdot t + b \quad (5)$$

log [X] – logaritmo da concentração de leveduras na fase exponencial de crescimento;

μ - velocidade específica máxima de crescimento (h<sup>-1</sup>)

t - tempo (h)

b - coeficiente linear da equação do logaritmo da concentração de leveduras em função do tempo de fermentação, na fase exponencial de crescimento

### 3.2.6. Pasteurização

No final do processo foi utilizada a pasteurização com o objetivo de eliminar os microrganismos que não são desejáveis na amostra. Esse processo se deu através do fermentado dentro de garrafas Pets, hermeticamente fechadas para não haver problemas de entrada de ar, água e outros materiais que interferiam nas amostras. Essas garrafas foram colocadas dentro de um pasteurizador a uma temperatura de  $65 \pm 1$  °C, por cerca de 30 minutos, em seguida foi dado um choque térmico, com água à temperatura ambiente ( $25 \pm 0,5$  °C), conforme a Figura 10.



**Figura 10.** Pasteurização à 65 °C e choque térmico do fermentado de algaroba

### 3.2.7. Potencial de hidrogênio iônico (pH)

Para a determinação do pH foi utilizado 10 mL da amostra em triplicata, e transferida para um tubo de ensaio a uma temperatura de 26 °C. O método foi o potenciométrico, com o pHmetro digital da marca Tecnal modelo TEC-2, onde o mesmo foi calibrado, inicialmente, com as soluções tampões de pH 7,0 e pH 4,0 (BRASL, 2005).

### 3.2.8. Sólidos solúveis totais (°Brix)

A determinação de sólidos solúveis totais foi realizada por densimetria, utilizando-se um sacarímetro de brix imergindo o mesmo em uma proveta graduada contendo 500 mL de caldo de algaroba e corrigido-se a leitura obtida para a temperatura do caldo a 20 °C, conforme a metodologia descrita por Brasil (2005).

### 3.2.9. Concentração de etanol (°GL)

Para a determinação da concentração de etanol, foi utilizado ebulliômetro, onde em seguida os resultados foram corrigidos com a régua de conversão que acompanha o equipamento.

### 3.2.10. Açúcares redutores totais (ART)

A metodologia empregada para determinação de açúcares redutores totais (ART) foi a do DNS (ácido 3,5 – dinitro salicílico), o aparelho utilizado para fazer as leituras foi o espectrofotômetro tipo UV, na leitura de 540nm, o método descrito por Miller (1959). Calculou-se o ART através da Equação (6).

$$ART = Abs \times F \times V_{diluição} \times 5 \quad (6)$$

Em que:

*ART* - Teor de açúcares redutores totais

*Abs* - Absorbância

*F* - Fator de conversão de ABS em ART na solução (2,135)

*V<sub>diluição</sub>* - Volume da diluição da amostra

Fator 5 - Soma dos volumes das soluções de 1 mL HCL 2 N, 3 mL de NaOH 1 N e 1 mL da amostra.



### 3.2.11. Acidez total

A acidez total foi determinada por titulometria conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (Brasil, 2005).

### 3.2.12. Concentração de biomassa ( $\text{g L}^{-1}$ )

A concentração celular (biomassa) foi determinada adotando-se o método de massa seca descrito por Florentino (2007), que consiste em separar as células do meio, secá-las e pesá-las.

A princípio, os tubos de eppendoff, com a capacidade de 1,5 mL cada, conforme Figura 11, foram preenchidos com o fermentado de algaroba, e em seguida foram colocados no centrifugador por cerca de 10 min, com uma rotação média de 3.000 rpm. Em seguida foi realizado o processo de lavagem do material (repetido por duas vezes). Ao término das lavagens, o material foi levado para estufa a 105 °C por 24 h, e em seguida pesado. O cálculo para determinar a biomassa, foi feito por diferença entre a massa inicial (M1) e a massa final em gramas (M2), dividida pelo volume (V) da amostra utilizado (1,5 mL), multiplicado por 1000 para obter o valor em  $\text{g L}^{-1}$ , conforme Equação 7.



**Figura 11.** Tubos de eppendoff para determinação da biomassa

$$\text{Concentração de biomassa} = \frac{M1 - M2}{V} \times 1000 \quad (\text{g L}^{-1}) \quad (7)$$

Created with



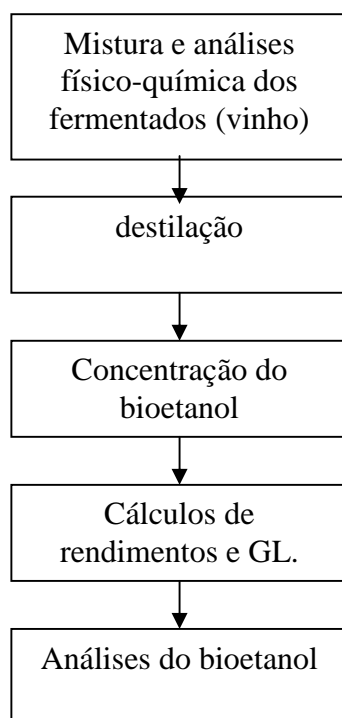
Em que:

M1 - Massa inicial da amostra, g

M2 - Massa final da amostra, g

V- volume do eppendoff, mL

O fluxograma da Figura 12 mostra o procedimento da destilação alcoólica para produção do bioetanol através das vagens de algaroba.



**Figura 12.** Fluxograma experimental para obtenção do bioetanol através das vagens das algaroba

### 3.3. Produção de etanol

#### 3.3.1. Mistura e análises físico-química dos fermentados

Foram realizadas inicialmente as misturas dos fermentados e posteriormente analisadas físico-quimicamente o material antes de dar início à destilação. Foi medido o Brix, como também o teor alcoólico, pH, acidez e a temperatura.

#### 3.3.2. Destilação

Foi dado início à destilação do fermentado produzido no alambique adaptado com uma coluna para destilar etanol, confeccionada em cobre, e com capacidade para 25 litros. Para o processo da produção do etanol foram colocados 16 litros do fermentado no alambique para iniciar a destilação.

O alambique foi aquecido (Figura 13), através de uma chama direta com o gás butano, dessa forma, foi dado início a produção do bioetanol através da destilação alcoólica.



**Figura 13.** Destilador de cobre adaptado para produção de etanol

### 3.3.3. Concentração de etanol no destilado

Para determinar as concentrações de etanol nos destilados foi usado o ebuliometro dessimetria, utilizando-se o alcoômetro de Gay Lussac e corrigindo os resultados da leitura à 20 °C. Os resultados obtidos através do ebuliômetro foram corrigidos com a régua de conversão que acompanha o equipamento.

#### 3.3.3.1. Cálculo de rendimento

O percentual de rendimento da destilação foi obtido pela razão do rendimento pratico dividido pelo rendimento teórico conforme as Equações 8 e 9 .

$$V_t = \frac{V_f \cdot T_f}{T_e} \quad (8)$$

Em que:

V<sub>t</sub> - volume máximo teórico de etanol (mL)

V<sub>f</sub> - volume do fermentado (mL)

T<sub>f</sub> - teor alcoólico do fermentado (°GL)

T<sub>e</sub> - teor alcoólico do etanol (°GL)

$$Re = \frac{V_p}{V_t} \times 100 \quad (9)$$

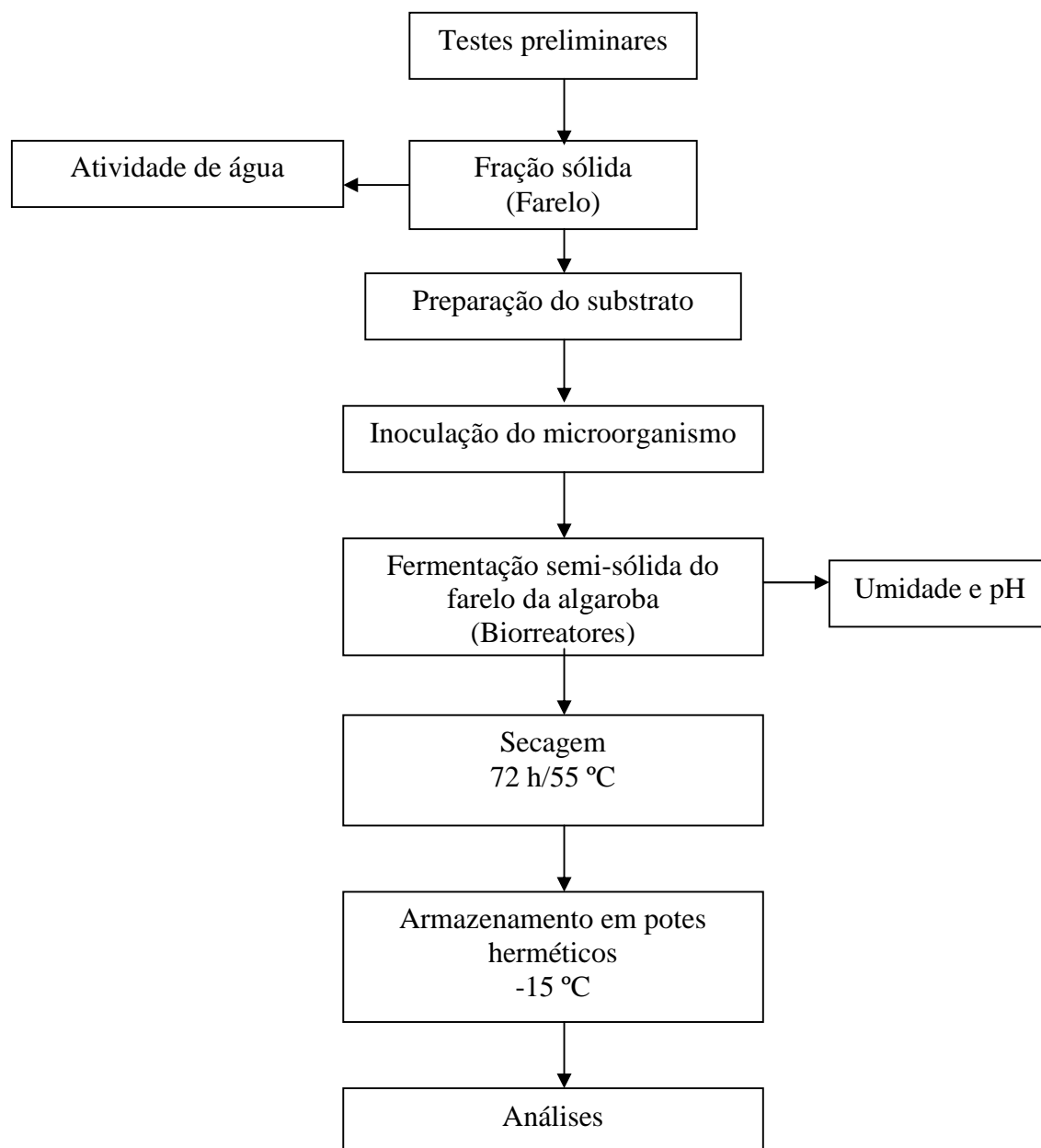
Em que:

Re - rendimento do etanol (%)

V<sub>p</sub> - volume do etanol obtido (mL)

V<sub>t</sub> - volume teórico máximo (mL)

O fluxograma da Figura 14 mostra o processo da fermentação semi-sólida do farelo de algaroba nos biorreatores nas concentrações de leveduras de 2, 4, e 6% e nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C, conforme o planejamento fatorial.



**Figura 14.** Fluxograma experimental do enriquecimento nutricional do resíduo da algaroba

### 3.4. Descrição do processo da fermentação semi-sólida em biorreatores para obtenção do enriquecimento protéico

#### 3.4.1. Fração sólida (farelo)

A fração sólida foi obtida através da metodologia descrita no item que trata da extração do caldo para a produção do fermentado. Antes do farelo ser submetido à fermentação semi-sólida foram realizados testes preliminares para observar o desenvolvimento do microorganismo para a obtenção do enriquecimento protéico.

#### 3.4.2. Planejamento fatorial

Observa-se na Tabela 4, os níveis reais e codificados das variáveis independentes, com o intuito de estudar a influência das variáveis de entrada (concentração de leveduras e temperatura). Foi empregado o planejamento fatorial  $2^2$  mais três ensaios no ponto central, conforme a Tabela 5 da matriz de planejamento, tendo como variáveis de respostas à umidade, pH, ART e proteína. Com relação aos níveis das temperaturas 30, 35, 40 °C, com base no clima do semi-árido.

**Tabela 4.** Níveis reais e codificados das variáveis de entrada

Variáveis		Níveis codificados	
Variáveis	Nível (-1)	Ponto Central	Nível (+1)
Concentração de levedura ( $\text{g L}^{-1}$ )	2	4	6
Temperatura (°C)	30	35	40

**Tabela 5.** Matriz de planejamento fatorial  $2^2 + 3$  PC, para fermentação semi-sólida

Ensaio	Concentração de leveduras (%)	Temperatura (°C)
1	-1 (2%)	-1 (30 °C)
2	+1 (6%)	-1 (30 °C)
3	-1 (2%)	+1 (40 °C)
4	+1 (6%)	+1 (40 °C)
5	0 (4%)	0 (35 °C)
6	0 (4%)	0 (35 °C)
7	0 (4%)	0 (35 °C)

### 3.4.3. Isotermas de adsorção de umidade

Foi realizada a construção da isoterma de adsorção dos resíduos das vagens de algaroba. Para a realização, utilizou-se o *Termoconstanter Novasina* TH200, na temperatura de 30 °C. Para o início das atividades foram pesados 10 gramas do resíduo (farelo de algaroba) para 10 recipientes e quantidade de água destilada em valores diferentes (0,2, 0,5, 0,8, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 e 4,0 mL). Após os materiais terem sido umedecido e posteriormente homogeneizado, os mesmos foram levados para as devidas análises, onde foi retirado cerca de 2,0 g da amostra e colocado dentro da célula para a leitura no aparelho. Antes e no final de cada leitura as amostras eram pesadas em balança analítica, e quando o aparelho era estabilizado se realizava a leitura da atividade de água ( $a_w$ ) no aparelho. No final do processo das leituras, determinava-se a umidade de equilíbrio das amostras em base seca, conforme a Equação 10.

$$X_{eq} = \frac{m_i - M_s}{m_s} \quad (10)$$

Em que:

$X_{eq}$  - Umidade (base seca)

$m_i$  - massa inicial (g)

$m_s$  - massa seca (g)

De posse dos dados da atividade de água ( $a_w$ ) encontrado, em cada material e suas respectivas umidades de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), construiu-se a isoterma de adsorção para a temperatura de 30 °C. Foi utilizado para ajustar os dados experimentais da isoterma os parâmetros dos modelos matemáticos de GAB e BET, como mostra as Equações 11 e 12, respectivamente, através do *software Origin 5.0*.

$$\mathbf{GAB} = X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (11)$$

$$\mathbf{BET} = \frac{X_{eq}}{X_w} = \frac{C a_w}{1 - a_w} \left\{ \frac{1 - (n+1)a_w^n + n a_w^{n+1}}{1 - (1-C)a_w - C a_w^{n+1}} \right\} \quad (12)$$

Em que:

$X_{eq}$  - umidade de equilíbrio

$X_m$  - umidade na monocamada molecular

$a_w$  - atividade de água

$C, n, a, c$  - parâmetros dos modelos

O modo utilizado para avaliar o ajuste de cada equação aos dados experimentais foi o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), que foi determinado pela Equação 13:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|VE - VT|}{VE} \quad (13)$$

Em que:

$n$  - número de dados experimentais

VE – valor de umidade experimental do material

VT – valor de umidade teórico

#### 3.4.4. Preparação do material e inoculação no substrato

Foram utilizadas bandejas retangulares de inox com as dimensões de 35 x 20 x 45 cm para acondicionar um volume de 3 L, (Figura 15). Esses biorreatores foram levados para estufa, sem circulação de ar, para dar início à fermentação a cada temperatura de 30, 35 e 40 °C e a concentração de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) de 2, 4, e 6%, conforme o planejamento fatorial. Essa levedura é encontrada no fermento biológico comercial (Fleischmann), com uma umidade de 70% em base úmida. Para cada bandeja foram colocados 500 g do substrato.



**Figura 15.** Fermentação semi-sólida em biorreator de bandejas

#### 3.4.5. Fermentação semi-sólida do farelo da algaroba

No início da fermentação semi-sólida, foram realizadas as análises de pH e umidade, os tempos foram determinados da seguinte forma (0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72, e 96 h). Foi utilizada a estufa sem circulação de ar, conforme Figura 16. A cada tempo determinado, era retirado e guardado em recipientes plásticos de cor preta com capacidade para 50 mL de amostras que eram conduzidas para a estufa à 55 °C, por 24 h para evitar alterações dos nutrientes, principalmente compostos nitrogenados, e em seguida guardada num freezer a temperatura de -15 °C, para posteriores análises de ART e proteína bruta.





**Figura 16.** Fermentação semi-sólida do farelo de algaroba na estufa sem circulação

#### **3.4.6. Armazenamento**

Todo o material foi armazenado no freezer a  $-15^{\circ}\text{C}$ , em potes de filme plásticos para depois serem realizadas as devidas análises físico-químicas.

#### **3.4.7. Análises físico-químicas**

Os materiais antes de ser analisados, foram colocados na estufa a  $55^{\circ}\text{C}$  até um peso constante, depois eram realizadas as análises.

#### **3.4.8. Umidade**

A umidade foi determinada seguindo a metodologia de Brasil (2005).

#### **3.4.9. pH**

Para determinar o pH do material foram utilizados 2,5 g de cada amostra (em triplicata) que eram colocadas no Erlenmeyer, com 25 mL de água destilada numa temperatura média de  $26^{\circ}\text{C}$ . O pH foi determinado conforme AOAC (1990).

#### 3.4.10. Aumento do teor de proteína bruta

O teor de proteína bruta foi determinado pelo método de Kjeldahl, por espectrofotometria UV-VIS, segundo o método descrito por Le Poidevin & Robinson (1964). O teor de proteína foi obtido em função do nitrogênio, multiplicando o mesmo por um fator de 6,25. O aumento protéico foi definido conforme Equação 14.

$$AP = \frac{(\%) \text{ Proteína Bruta (enriquecida)} - \text{Proteína Bruta (in.natura)}}{(\%) \text{ Proteína Bruta (in.natura)}} \times 100 \quad (14)$$

#### 3.4.11. Açúcares redutores totais (ART)

O percentual de açúcares redutores totais foi determinado pelo método do DNS (Acido 3,5 Dinitro Salicílico), de acordo com Correia (2004).

#### 3.4.12. Energia bruta (EB)

A análise de energia bruta do farelo da algaroba foi realizada no Laboratório de Análise de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Areia, PB. A metodologia utilizada foi pela AOAC (1990).

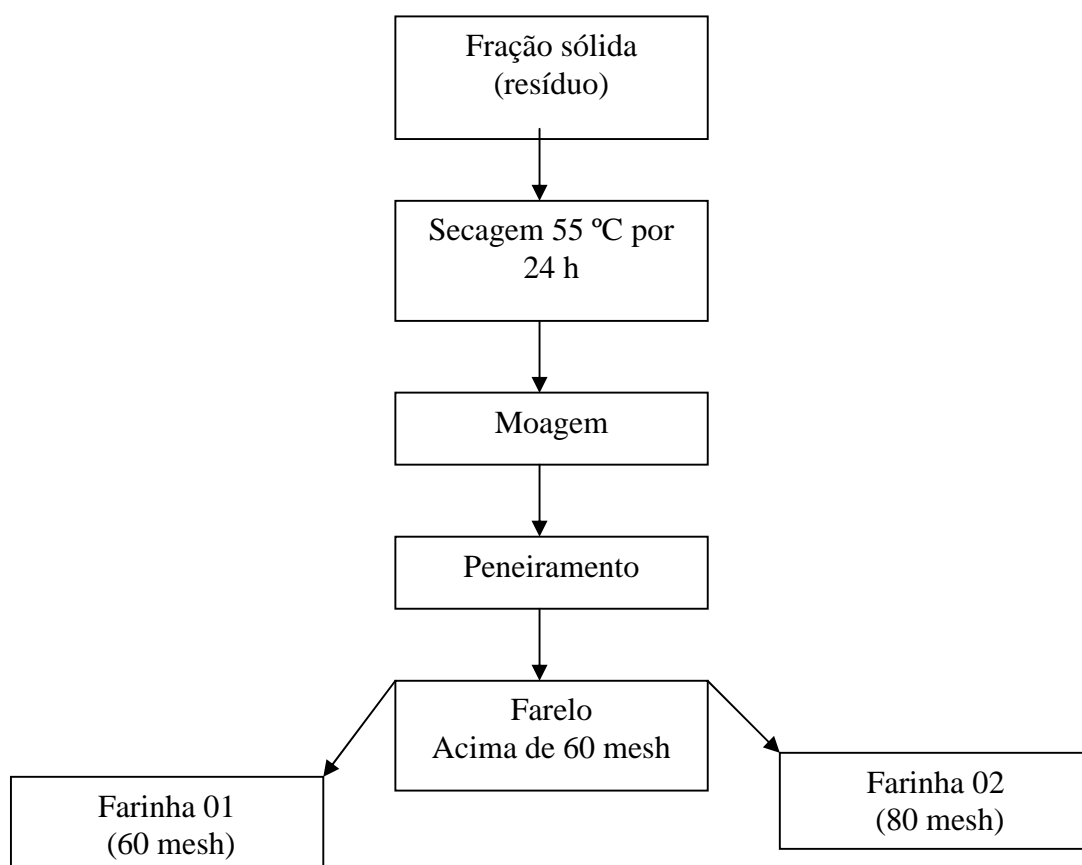
#### 3.4.13. Fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

As análises dos percentuais de P, K, Ca e Mg do farelo de algaroba foram realizadas no Laboratório do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Areia, PB. A metodologia utilizada foi descrita por Silva (1998).

### 3.4.14. FDN (Fibra em Detergente Neutro) e FDA (Fibra em Detergente Ácido)

As análises de FDN e FDA foram realizadas no Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Areia, PB.

Na Figura 17 encontra-se o fluxograma da fase do processo de separação através do peneiramento da fração sólida da algaroba (resíduo) para a obtenção da farinha e do farelo de algaroba.



**Figura 17.** Fluxograma para obtenção da farinha e do farelo de algaroba

### 3.5. Descrição do processo para obtenção do farelo e da farinha das vagens de algaroba

#### 3.5.1. Fração sólida (resíduo)

Após a extração do caldo das vagens de algaroba para a produção do fermentado, foi obtida a fração sólida (resíduos) para dar início ao processo de obtenção do farelo, para o enriquecimento protéico, e da farinha para a fabricação dos bolos.

#### 3.5.2. Secagem e moagem

A secagem dos resíduos das vagens de algaroba foi realizada a 55 °C por 24 h em bandejas de alumínio na estufa com circulação de ar. Em seguida o material foi triturado em um moinho elétrico da marca Tecnal, modelo TE.631, com a velocidade de 21500 rpm para realizar as devidas triturações nas vagens que já se encontravam secas a uma umidade em torno de 8% b.u. (Figura 18).



**Figura 18.** Moagem dos resíduos das vagem de algaroba

#### 3.5.3. Peneiramento

Após ter sido triturado e moído obteve-se uma amostra homogênea que foi peneirada em malhas de acordo com a série de Tyler. Observa-se na Figura 19, o peneiramento através das peneiras de 60 e 80 tyler.



**Figura 19.** Peneiramento dos resíduos das vagem de algaroba

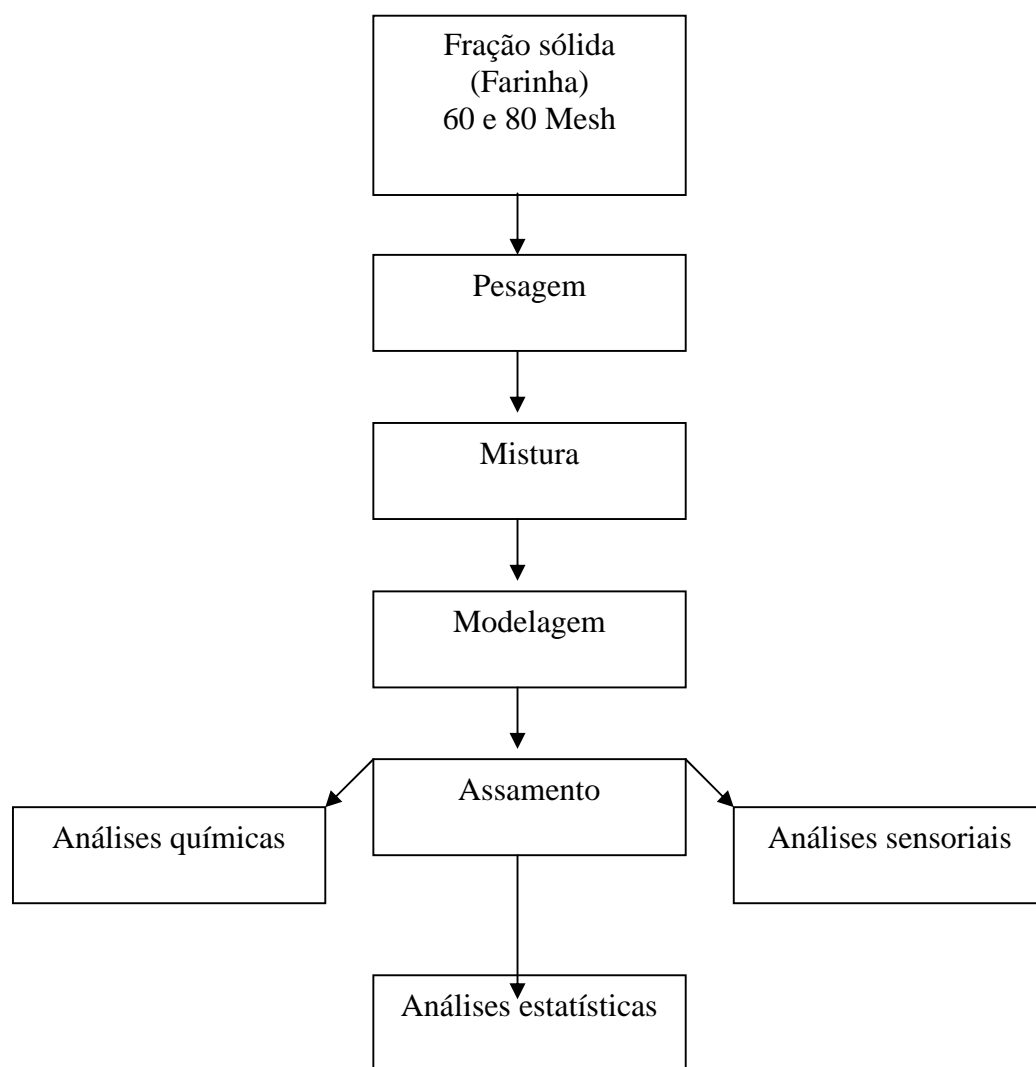
### 3.5.4. Granulometria

Para a obtenção das farinhas, cada fração foi obtida com as granulometrias (60 e 80 mesh), o material que não passava na malha de 60 mesh designado de farelo, era aproveitado para realização do enriquecimento protéico. Todo o material foi peneirado em peneiras da marca GRANUTEST, com os furos de 60 mesh (0,25mm) e 80 mesh (0,18 mm) para a fabricação do bolo e o material retido serviria para a produção do enriquecimento, conforme Tabela 6.

**Tabela 6.** Classificação granulométrica das farinhas e do farelo das vagens de algaroba

Classificação	Espessura da peneira (mesh)	Espessura da peneira (mm)
Farelo	Acima de 60	Acima de 0,250
Farinha 01	60	0,25
Farinha 02	80	0,18

A Figura 20 mostra o fluxograma experimental das caracterizações físico química e sensorial dos resíduos da farinha da algaroba para a obtenção do bolo de algaroba em duas granulometrias (mesh 60 e 80).



**Figura 20.** Fluxograma experimental para obtenção do bolo de resíduo de algaroba

### 3.6. Descrição do processo da produção do bolo de algaroba

#### 3.6.1. Fração sólida (farinha)

Após ter sido peneirado, as frações sólidas das farinhas de 60 mesh (0,25mm) e 80 mesh (0,18 mm) foram direcionadas para a fabricação dos dois bolos de acordo com a granulometria obtida.

### 3.6.2. Pesagem e mistura

Cada farinha de algaroba era pesada na produção de 1/3 com relação à farinha de trigo, ou seja, 01 xícara de farinha de algaroba para duas xícaras de farinha de trigo. Cada ingrediente era pesado de acordo com os testes preliminares para a fabricação do bolo (Figura 21). Em seguida foi realizada a mistura em batedeira caseira até alcançar a homogeneidade com os outros ingredientes, açúcar, sal, ovos e manteiga para a formação do bolo (Tabela 7).



**Figura 21.** Mistura dos ingredientes para fabricação do bolo de algaroba

**Tabela 7.** Balanço de massa para o bolo com 35% da farinha de algaroba

Farinha de trigo	Leite	Açúcar	Farinha de algaroba	Manteiga	Ovos	Sal
%						
65	40	5	35	4	15	1,8



### **3.6.3. Modelagem e assamento**

A forma de alumínio usada para modelagem do bolo foi previamente untada com manteiga, farinha de trigo e depois recebeu a massa e foi levada para assar num forno caseiro a uma temperatura de 240 °C por 20 min. Depois de esfriado, o bolo foi desmoldado e assim, foi submetido às devidas análises.

### **3.6.4. Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada na cidade do Recife, PE, na Sede da Entidade AMAS (Associação Menonita de Assistência Social), onde na oportunidade 40 provadores não profissionais receberam orientações do procedimento das análises do bolo de algaroba e em seguida foram procedidas as avaliações quanto ao sabor, odor, textura e aroma.

Foi repassada para cada provador uma ficha conforme o Quadro 02, onde eles avaliavam a aparência, odor, textura e sabor da amostra mesh 60 (0,18 mm) , depois dava-se um descanso de cinco minutos em média para que houvesse um intervalo entre uma amostra e a outra, depois servia para os provadores uma bolacha de água e sal, para que houvesse a mascaração do sabor da amostra que foi servida, e em seguida servia a amostra de 80 mesh (0,14 mm), repetindo o procedimento. No final da degustação foi solicitado para os provadores que caso houvesse algum comentário fosse acrescentado na parte final da ficha (Quadro 2) conforme Brasil (2005).



Ficha dos Provadores

Provador:

Data:        /        / 2009

Estamos realizando uma pesquisa sobre a aceitação de um novo produto da farinha do resíduo da algaroba. Por favor, se você tiver interesse em participar desse teste preencha a ficha abaixo.

Você está recebendo duas amostras de bolo com respectivas granulometrias. Avalie a aparência, odor, textura e sabor. Escreva o código e indique usando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou, das amostras.

<i>Avaliação:</i>	<i>Amostras:</i>	
9. Gostei muitíssimo	Aparência:	
	A/01 (        )	A/02 (        )
8. Gostei muito		
7. Gostei moderadamente	Odor:	
	A/01 (        )	A/02 (        )
6. Gostei ligeiramente		
5. Não gostei, nem desgostei	Textura:	
	A/01 (        )	A/02 (        )
4. Desgostei ligeiramente		
3. Desgostei moderadamente	Sabor:	
	A/01 (        )	A/02 (        )
2. Desgostei muito		
1. Desgostei muitíssimo		

**Quadro 2.** Escala hedônica para as análises sensoriais do bolo de algaroba

Comentários:

### 3.7. Análise estatística

Os dados experimentais obtidos na análise sensorial foram analisados estatisticamente com o uso do programa computacional *Assistat*, versão 7.5 beta, SILVA & AZEVEDO (2009). Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com 2 tratamentos e 40 repetições. A comparação entre as médias dos dados foi feita através do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO DO ENRIQUECIMENTO PROTEICO DAS VAGENS DE ALGAROBA

## CAPÍTULO 4

Created with

## CAPÍTULO 4

Neste capítulo inicialmente serão apresentados os resultados e discussão relativos à composição físico-química dos resíduos (farelo “in natura”) das vagens de algaroba, como também serão mostrados e discutidos os resultados da isoterma de adsorção de umidade na temperatura de 30 °C ajustados com os modelos de GAB e BET. Nesse capítulo também será discutido o enriquecimento do resíduo das vagens de algaroba utilizando três tipos de concentrações da levedura *Saccharomyces cerevisiae* nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C nos biorreatores de bandejas em estufa sem circulação.

### 4.1. Caracterização físico-química do farelo das vagens de algaroba

A caracterização físico-química do resíduo da vagem de algaroba é importante para este estudo, pois oferecerá parâmetros suficientes para avaliar os constituintes presentes no estudo proposto desse trabalho, conforme a Tabela 8.

**Tabela 8.** Composição físico-química do farelo “in natura” das vagens de algaroba (base seca)

Componente	Farelo in natura
Umidade (%)	7,87 ± 0,09
Proteínas (%)	7,65 ± 0,05
Lipídeos (%)	5,49 ± 0,00
Acidez total (%)	6,75 ± 0,64
Minerais (%)	2,24 ± 0,01
FDN (%)	69,45
FDA (%)	51,98
Açúcares redutores totais (%)	87,75 ± 0,64
pH	4,73 ± 0,00
Matéria orgânica (%)	97,86

Matéria seca (%)	92,13
Gordura bruta (%)	3,15
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	2,69
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1,18
N (g kg <sup>-1</sup> )	20,30
P (g kg <sup>-1</sup> )	1,28
K (g kg <sup>-1</sup> )	3,64
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	48,36

Observa-se, na Tabela 8, que o teor de umidade para os resíduos das vagens de algaroba, foi menor do que o descrito por Silva (2002), que foi de 11,52%, e semelhante ao encontrado por Almeida et al. (2003) que foi de 7,18%. O conhecimento da umidade no farelo é de extrema importância para um bom estudo do enriquecimento protéico, pois através do seu controle, pode-se evitar tanto a contaminação do substrato devido ao alto teor ou mesmo uma insuficiência no crescimento das leveduras devido ao baixo teor de umidade, no entanto, no enriquecimento protéico se faz sempre necessário o equilíbrio do nível de umidade e da atividade de água do material que vai ser utilizado em função do metabolismo do microrganismo.

Os valores de proteína bruta estão próximos aos encontrados por Santos & Rebouças (2007) que foi 7,82%, e maior do que os encontrados por Silva (2002), e Stein (2002) nos valores respectivos de 6,84 e 6,17%. O teor de lipídeos, no farelo in natura, foi bem maior do que o analisado por de Silva (2002), que foi 1,54%. A acidez total do resíduo da vagem de algaroba foi semelhante ao encontrado por Silva (2002, que foi 6,84%.

Valores de FDN e FDA foram bem maiores do que encontrados por Stein (2002), que foi de 26 e 15%, respectivamente. Esses valores estão relacionados às características que envolvem o vegetal, como o clima e/ou o próprio solo que se encontra a planta, fazendo com que elas tenham valores não semelhantes. O aumento da ingestão de FDN e FDA pode afetar a digestibilidade de compostos fibrosos por meio da elevação da taxa de passagem do conteúdo digestivo (OLIVEIRA, 1995; LACASHA et al., 1999), podendo resultar numa redução da digestibilidade de FDN e FDA, quando

o nível de substituição de farelo da vagem de algaroba nas rações concentradas for maior, pois as rações com maiores níveis de substituição também apresentaram maiores teores destes compostos. Os teores de minerais analisados para o resíduo da vagem de algaroba foram inferiores aos encontrados por Silva (2002), 2,84%, Santos & Rebouças (2007), 3,82% e por e Silva (2001) no valor de 3,18%.

De acordo com Khader, citado por Campos (2008). O pH em torno de 4,5 propiciam apenas o desenvolvimento de fungos e algumas leveduras. O pH encontrado na amostra do resíduo da vagem de algaroba foi em torno de 4,73, sendo propício para o crescimento de fungos. Com relação aos micronutrientes cálcio e fósforo, os valores encontrados por Stein (2002) foi de 0,78 e 0,27 respectivamente, valores esses abaixo do presente estudo.

O teor de açúcares redutores totais encontrado nesse trabalho foi de 87,75%, valor semelhante ao de Silva (2009) estudando a produção de aguardente de algaroba, que foi 88,63%. É bom salientar que o ART é a soma dos açúcares, glicose, frutose. Esse composto é de suma importância para alimentação animal, fonte de carboidratos para uso como subproduto em processo fermentativos, em especial no que diz respeito ao valor calórico existente nesses componentes.

#### **4.2. Isoterma de adsorção de umidade do farelo das vagens de algaroba**

Para obtenção de uma boa taxa de crescimento das leveduras no resíduo da algaroba, foi necessário dar condições para que os microrganismos tivessem um bom desenvolvimento, para isso é imprescindível que haja uma correlação entre a atividade de água e a umidade.

#### 4.2.1. Isoterma de adsorção de umidade do farelo (resíduo) das vagens de algaroba in natura

Para as isotermas de adsorção, foram obtidos os dados experimentais da atividade de água ( $a_w$ ) correlacionados com as suas umidades de equilíbrio ( $X_{eq}$ ), na temperatura de 30 °C, para o resíduo (farelo) da vagem de algaroba “in natura” nos quais os dados estão apresentados no Apêndice A na Tabela A1.

Na Figura 22, encontra-se a relação entre quantidade de água (mL) adicionada à 10g de resíduo de algaroba e sua correspondente atividade de água.

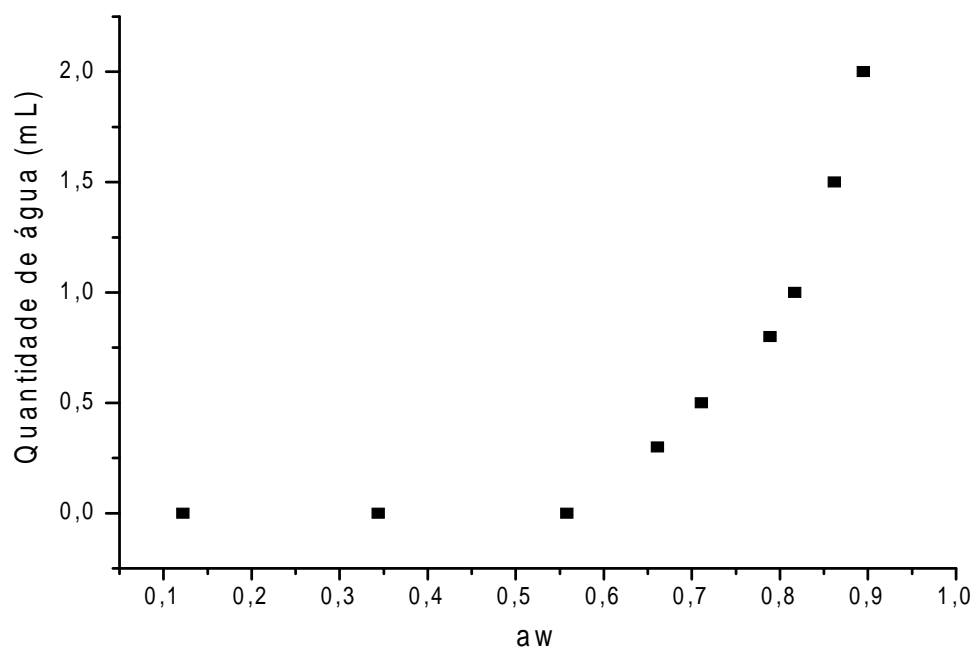


Figura 22 – Quantidade de água adicionada no resíduo de algaroba e sua correlação de atividade de água.

Os parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos GAB e BET, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P), obtidos para os dados experimentais das isotermas de adsorção na temperatura de 30 °C, encontram-se na Tabelas 9 .

**Tabela 9.** Parâmetros de ajuste do modelo matemático de GAB e BET, com o respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), na temperatura de 30 °C

Temperatura (30 °C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)
GAB	$X_m$	C	K		
	0,044	12,941	0,955	0,998	3,60
BET	$X_m$	C	n	0,979	4,28
	0,231	0,008	4,347		

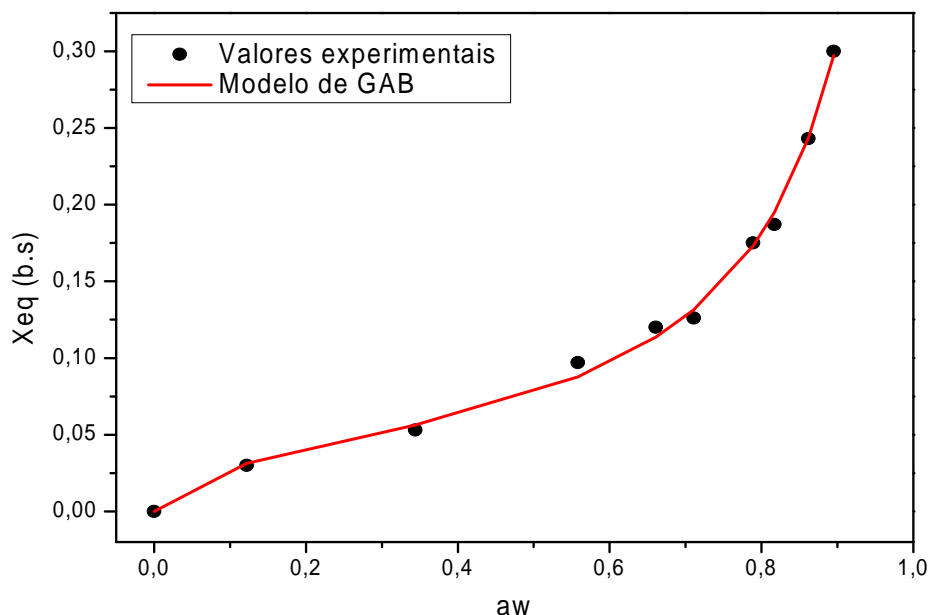
Para o modelo de GAB observa-se que houve um menor aumento nos valores do conteúdo da monocamada molecular ( $X_m$ ) com relação ao modelo de BET, já o calor de sorção (C) do modelo de GAB apresentou um maior valor. A constante (K) do modelo utilizado para o modelo de GAB apresentou o valor próximo a unidade 1.

Os critérios utilizados para uma boa escolha dos modelos que se ajustam aos dados experimentais parte dos princípios estatísticos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio médio relativo (P). De acordo com a Tabela 9, observa-se que  $R^2$  do modelo de GAB foi melhor que o encontrado no ajuste com o modelo de BET, apresentando um coeficiente de determinação de 0,998, e obteve-se com este modelo um menor desvio médio percentual de 3,60%, demonstrando assim, o melhor modelo de ajuste para esses dados. Lomauro et al. (1985) afirmam que os modelos que apresentam desvios percentuais abaixo de 10% são considerados aceitáveis. Pesquisando as isotermas de adsorção da farinha de pupunha nas temperaturas de 15 e 35 °C, Ferreira & Pena (2003), encontraram também um bom ajuste aos dados dos experimentos utilizando o modelo de GAB. Almeida et al. (2003) em pesquisa com a umidade de equilíbrio das vagens de algaroba verificaram um ajuste ao modelo de GAB com o coeficiente de determinação no valor de 99,81% e um desvio padrão de 2,44% para a temperatura de 30 °C.

Na Figura 23, encontra-se a isoterma de adsorção de umidade dos resíduos das vagens de algaroba “in natura” referente à temperatura de 30 °C, ajustada pelo modelo

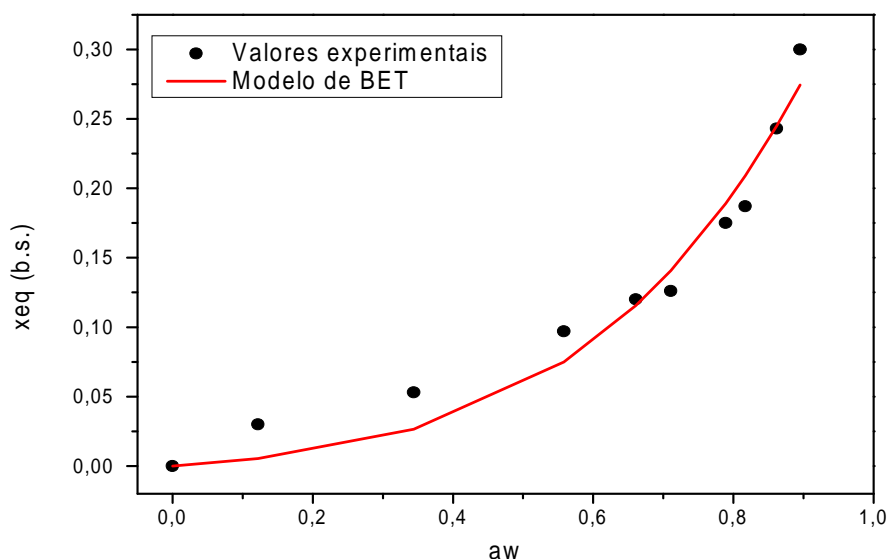


de GAB. Constatou-se que houve um ajuste satisfatório na extensão da faixa da atividade de água ( $a_w$ ).



**Figura 23.** Isoterma de adsorção para o resíduo da vagem de algaroba in natura a temperatura de 30 °C (Ajuste do modelo de GAB)

Na Figura 24, encontra-se a isoterma de adsorção de umidade do resíduo da vagem de algaroba “in natura” referente à temperatura de 30 °C, ajustada pelo modelo de BET. Constatou-se que não houve um ajuste satisfatório na extensão da faixa da atividade de água ( $a_w$ ), apenas no início e no final houve dois pontos de atividade de água ( $a_w$ ) que se ajustaram ao modelo, não se destacando assim, os demais pontos.



**Figura 24.** Isoterma de adsorção para o resíduo da vagem de algaroba in natura a temperatura de 30 °C (Ajuste pelo modelo de BET).

Observa-se nas Figuras 23 e 24, que como o resíduo das vagens de algaroba é um material higroscópico, a umidade de equilíbrio em base seca aumenta com relação ao aumento da atividade de água.

A faixa ótima de atividade de água para o crescimento da levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), a qual será utilizada no processo de enriquecimento deve estar entre 0,90 e 0,99 (GOULD, 1989). Então, através da correlação atividade de água e umidade de equilíbrio apresentada na Figura 23, verifica-se que o processo de fermentação semi-sólida para o enriquecimento do farelo de algaroba deverá ser operado com uma umidade inicial (base seca) acima de 0,30 que corresponde a uma umidade (base úmida) acima de 23%, caso contrário o crescimento do microrganismo será inibido, podendo não se desenvolver. E para o armazenamento do farelo *in natura*, não utilizando aditivos nem refrigeração, é necessário que a faixa ideal de atividade de água residual deva estar compreendida entre 0,25 a 0,35, que corresponde a uma umidade (base seca) abaixo de 0,053, que equivale a uma umidade (base úmida) de 5,04%, eliminando desta forma, qualquer crescimento de microrganismos (SANTIN, 1996).

### 4.3. Estudo cinético da fermentação semi-sólida do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba

Deu-se início aos estudos do enriquecimento protéico em ensaios preliminares para obter o conhecimento do processo de aumento protéico no resíduo das vagens de algaroba, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

#### 4.3.1. Proteína bruta

O estudo cinético do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, teve como objetivo principal nesse trabalho, observar qual o melhor tempo e concentração de levedura que se produz o maior teor protéico no substrato.

Na Tabela 10 estão apresentados à variação dos teores de proteína bruta do resíduo das vagens de algaroba no decorrer de todo o processo do enriquecimento protéico, utilizando as concentrações de levedura *Saccharomyces cerevisiae* com as temperaturas em °C, conforme o planejamento fatorial.

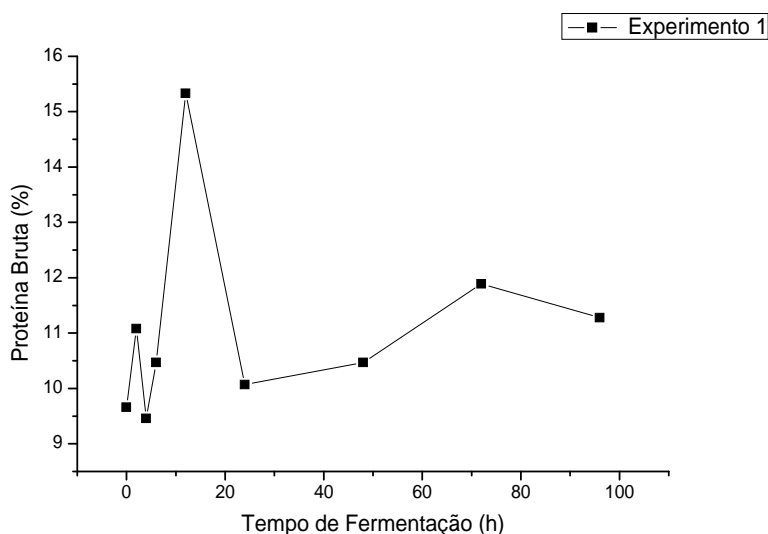
**Tabela 10.** Valores de proteína bruta durante o processo de fermentação semi-sólida, com 9 experimentos

Experimento/ Temperatura (°C)	Tempo de fermentação (h)								
	Teor de proteína in natura ( 7,6)								
	0	2	4	6	12	24	48	72	96
<b>1 (30)</b>	9,66	11,08	9,46	10,47	<b>15,33</b>	10,07	10,47	11,89	11,28
<b>2 (30)</b>	11,82	13,51	14,93	16,14	<b>17,15</b>	13,10	12,09	12,29	12,09
<b>3 (40)</b>	10,88	16,14	10,07	16,14	17,76	<b>23,64</b>	16,55	16,95	16,14
<b>4 (40)</b>	13,71	20,40	20,19	21,41	17,15	<b>26,27</b>	22,22	23,64	22,22
<b>5 (35)</b>	12,50	13,51	12,90	13,71	10,47	13,10	11,69	<b>14,12</b>	10,88
<b>6 (35)</b>	12,29	13,01	11,48	12,09	12,29	12,90	12,09	<b>14,32</b>	14,12
<b>7 (35)</b>	11,89	12,09	11,48	11,69	8,65	10,07	9,05	<b>15,74</b>	13,10

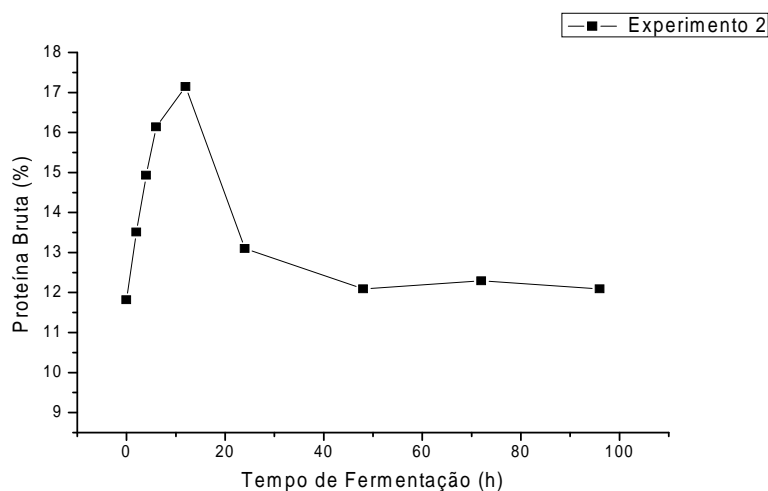
As Figuras 25 e 26 representam a cinética da fermentação do enriquecimento protéico do farelo a 30 °C, com as concentrações de leveduras de 2 e 6% respectivamente, onde se observa o melhor tempo que o substrato foi fermentado por meio da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Ao analisar as Figuras 25 e 26, observa-se que, até o tempo de 6 h de fermentação houve uma oscilação no acréscimo e decréscimo dos valores de ganho de proteína para o experimento 1, porém para o experimento 2 houve um aumento gradativo nos valores de proteína bruta, ao atingir o tempo de 12 h. Observa-se o máximo rendimento nos valores de 15,33 e 17,15% respectivamente nos experimentos 1 e 2, equivalentes a um aumento protéico máximo de 201,71% para o experimento 1, e para o experimento 2 de 225,65%.

A proteína é um dos componentes fundamentais para a nutrição dos animais, elas acumulam diversas funções, como a de renovar e constituir as estruturas dos órgãos internos (osso, pele e músculos).

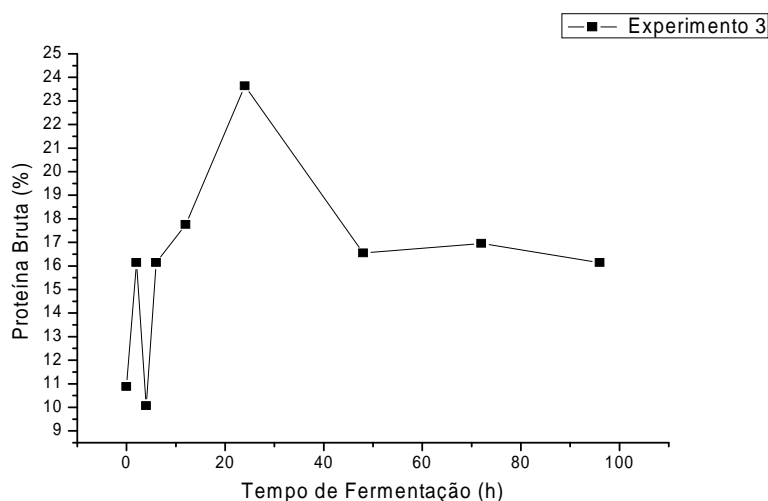


**Figura 25.** Perfil do enriquecimento protéico do resíduo das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 30 °C

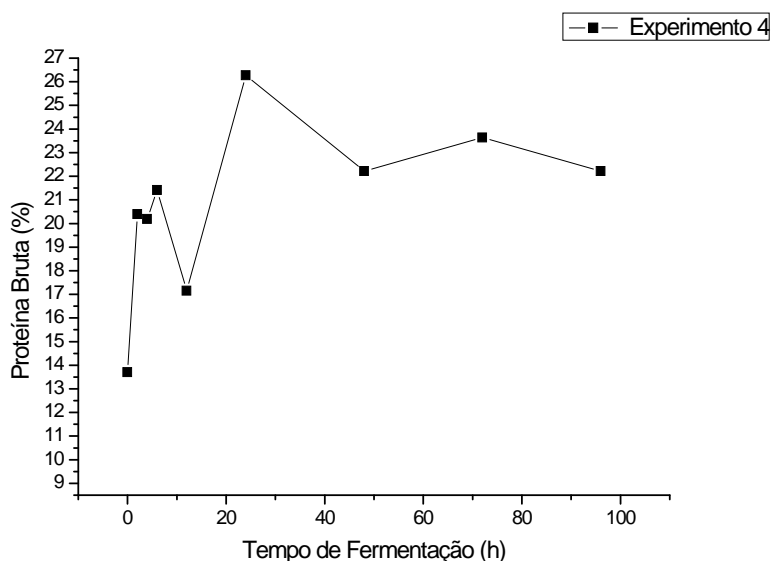


**Figura 26.** Perfil do enriquecimento protéico do resíduo das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 6 % na temperatura de 30 °C

As Figuras 27 e 28 ilustram variações no decorrer do processo da fermentação até o tempo de 24 h onde se observou o maior ganho de enriquecimento protéico do fermentado semi-sólido, tendo um rendimento do teor de proteína de 23,64 e 26,27% respectivamente. Para o aumento protéico foi observado no experimento 3, o aumento de 311,05% e para o experimento 4, de 345,65%.

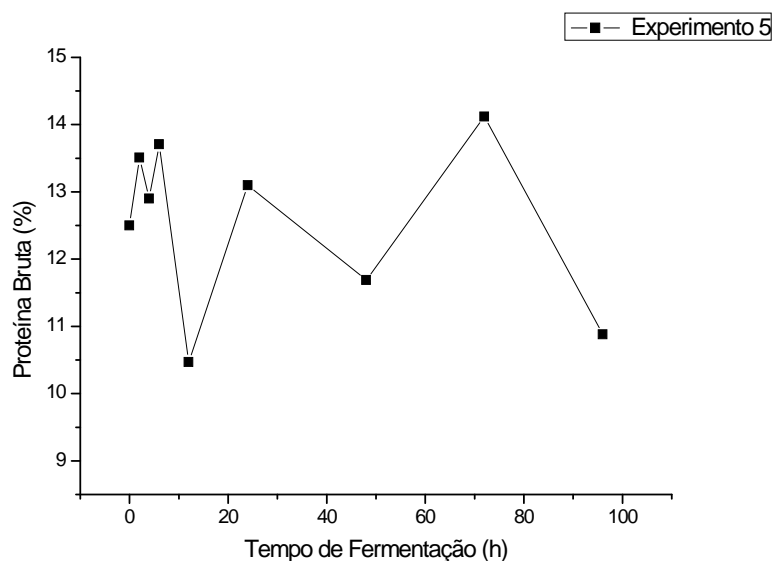


**Figura 27.** Perfil do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 40 °C

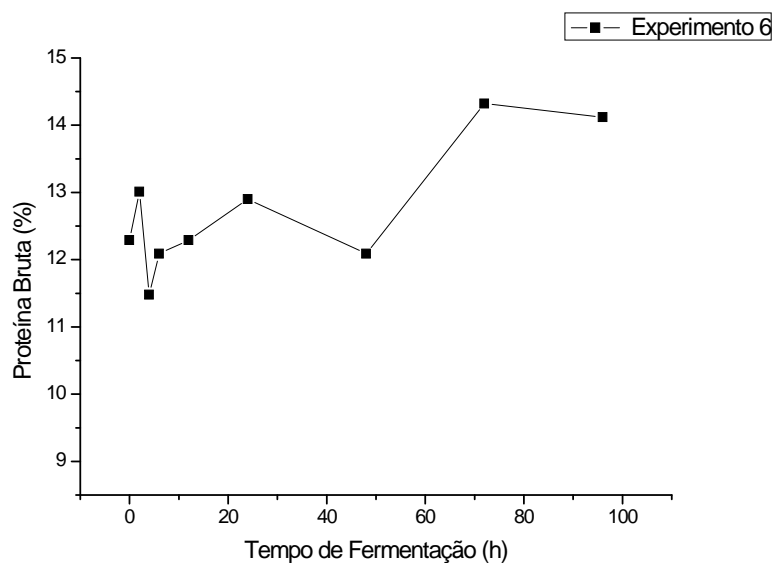


**Figura 28.** Perfil do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 6% na temperatura de 40 °C

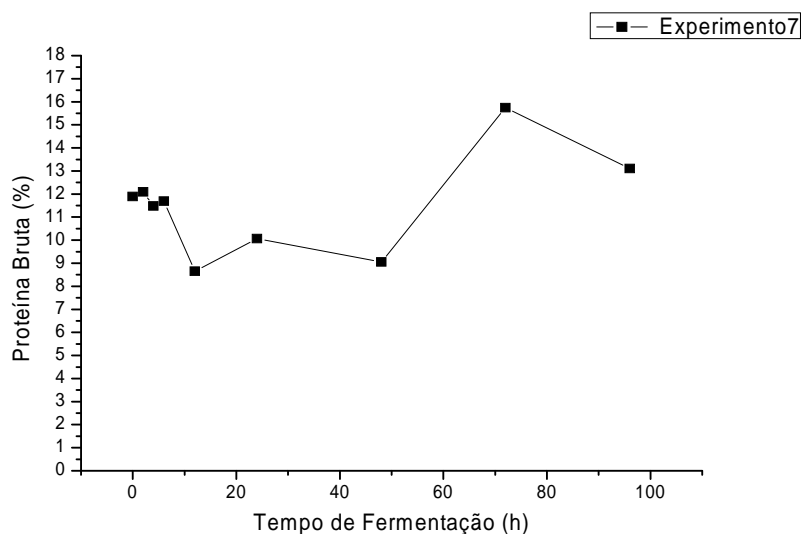
As Figuras 29, 30 e 31 apresentam o processo dos experimentos do ponto central do planejamento fatorial. Decorreram de forma oscilatória atingindo o maior crescimento protéico no tempo de 72 h, tendo como valores, 14,12, 14,32 e 15,74% respectivamente. Com relação ao aumento protéico analisados para os experimentos 5, 6 e 7, observaram-se um aumento protéico de 185,78% para o experimento 5, de 188,42% para o experimento 6 e para o experimento 7 um aumento de 207,10%.



**Figura 29.** Perfil do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C



**Figura 30.** Perfil do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C



**Figura 31.** Perfil do enriquecimento protéico do resíduo da vagem de algaroba, utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C

De acordo com a NRC (1989) os valores de proteínas encontrados de proteínas nesse trabalho estão todos dentro da norma técnica exigida que é no mínimo de 8% para animais em termos de crias recém desmamadas; para fêmeas com lactação e sem lactação, onde o teor protéico exigido é de 16 a 24% de proteína.

Os valores aqui expressos são semelhantes, e em alguns casos, são maiores aos teores de determinados concentrados convencionais, tais como concentrado de aveia esmagada, farelo grosso de trigo, torta de babaçu, coco da Bahia prensado, semente de algodão, grãos de ervilha, farelo de babaçu e farelo de aveia, que apresentam teor de 14,7; 15,0; 20,5; 21,2; 23,1; 23,4; 24,0 e 25,8%, respectivamente (NRC, 1989).

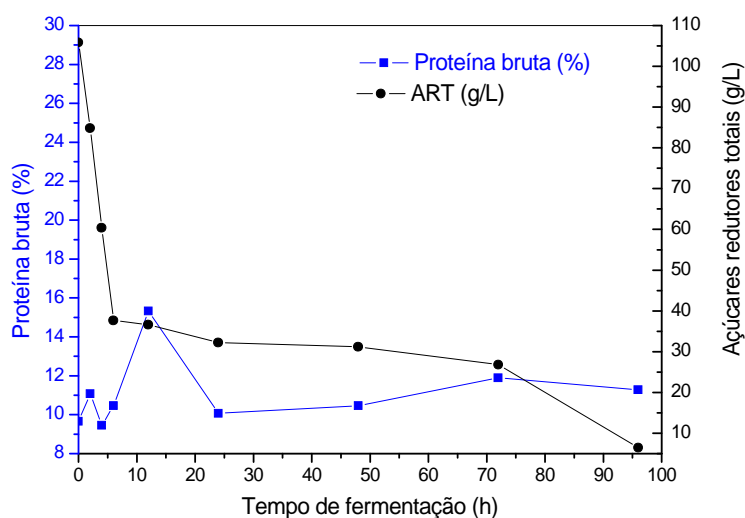
Na Tabela 11 encontra-se os dados dos teores de açúcares redutores totais (ART) do resíduo das vagens de algaroba durante todo o processo de fermentação do enriquecimento protéico usando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, nos sete experimentos, conforme o planejamento fatorial.



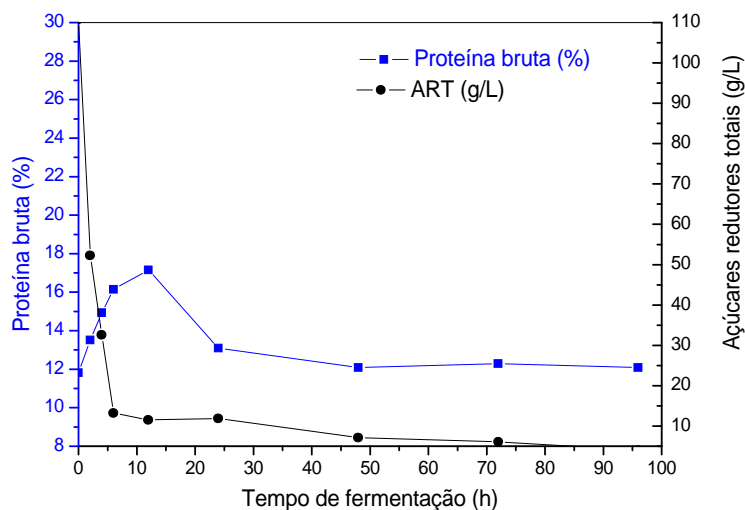
**Tabela 11.** Valores de açúcares redutores totais durante o processo de fermentação semi-sólida

Experimento/ Temperatura (°C)	Tempo de fermentação (h)								
	in natura (120,231)								
	0	2	4	6	12	24	48	72	96
1 (30)	105,87	84,83	60,40	37,66	36,64	32,24	31,22	26,81	6,45
2 (30)	110,80	52,26	32,58	13,24	11,54	11,88	7,13	6,11	4,00
3 (40)	111,80	70,77	68,54	38,00	22,73	12,89	10,52	10,86	9,84
4 (40)	114,56	74,00	89,58	32,57	20,69	13,23	9,50	9,50	8,48
5 (35)	118,09	81,94	60,40	20,36	20,02	19,00	12,21	10,85	9,16
6 (35)	118,00	84,90	52,93	19,68	12,63	16,29	13,24	11,87	11,19
7 (35)	117,67	81,03	50,56	32,24	20,69	20,36	19,00	17,64	10,18

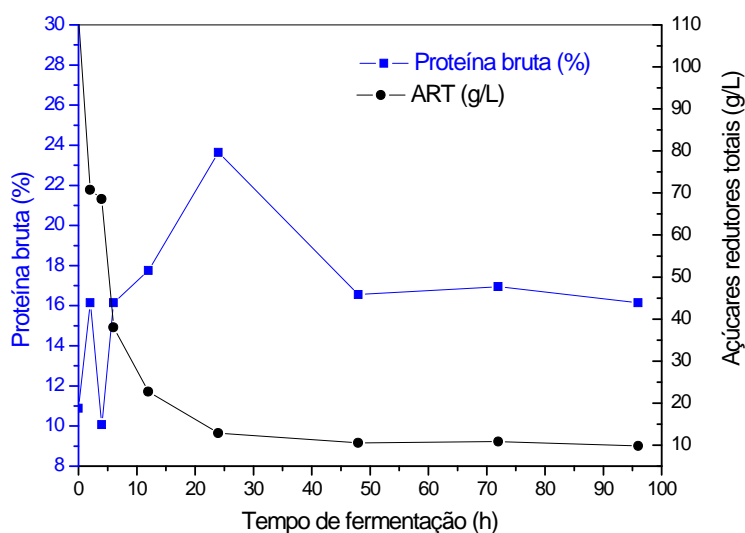
A correlação do desempenho do teor de açúcares redutores totais (ART) e de proteína bruta (PB) durante a cinética da fermentação do enriquecimento protéico, é melhor observada graficamente nas Figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38.



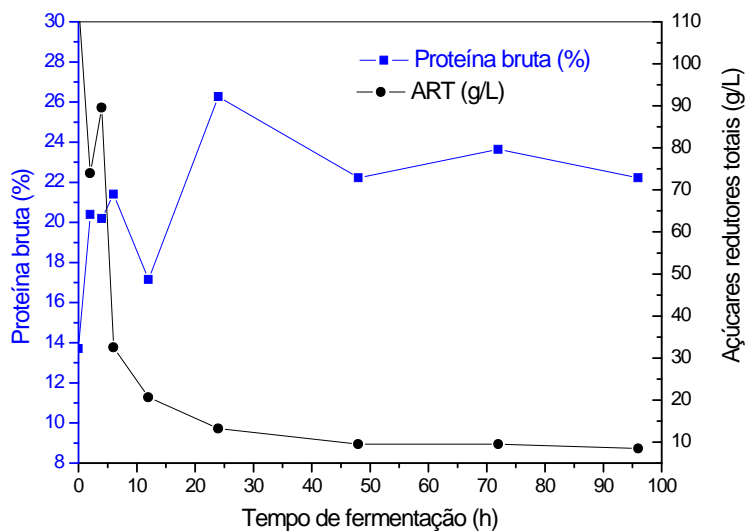
**Figura 32.** Perfis do enriquecimento protéico do teor de proteína bruta e açúcares totais do resíduo das vagens de algaroba utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 30 °C (1º experimento)



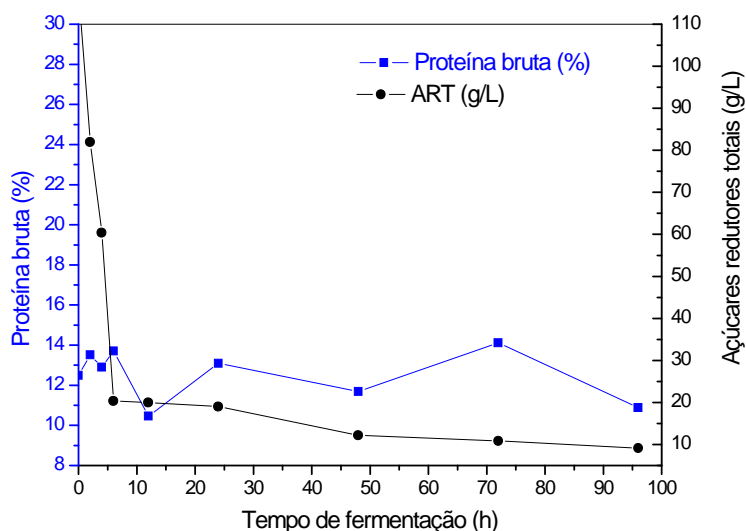
**Figura 33.** Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 6% na temperatura de 30 °C (2º experimento).



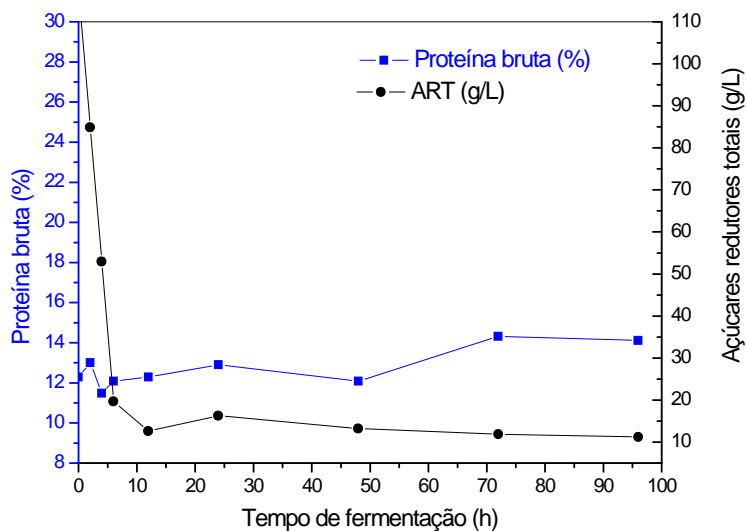
**Figura 34.** Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 2% na temperatura de 40 °C (3º experimento)



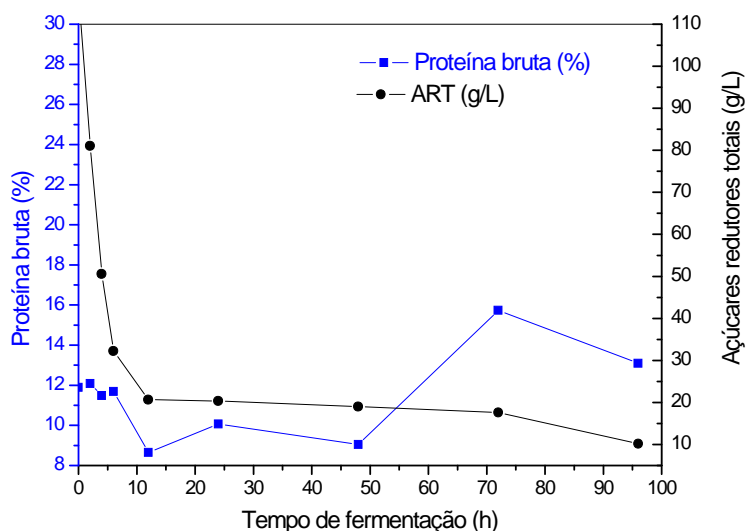
**Figura 35.** Perfil do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 6% na temperatura de 40 °C (4º experimento)



**Figura 36.** Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C (5º experimento)



**Figura 37.** Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C (6º experimento)



**Figura 38.** Perfis do enriquecimento protéico dos teores de proteína bruta e açúcares totais do resíduo da vagem de algaroba utilizando a concentração de levedura a 4% na temperatura de 35 °C (7º experimento)

Conforme observado nas figuras correspondentes aos perfis de comportamento de ART, durante o processo de fermentação semi-sólido, do resíduo das vagens de algaroba, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* em biorreatores de bandejas, verifica-se que houve consumo de açúcares dos substratos através do tempo de fermentação.

Para os experimentos 1 e 2, na temperatura de 30 °C e com a concentração de leveduras de 2 e 6% respectivamente, foi observada uma redução gradual de ART para ambos os experimentos dando seqüência no decréscimo até o tempo de 96 h. Foi observado também que no tempo de 12 h houve um acentuado acréscimo de PB.

Campos (2008) estudando o enriquecimento nutricional da palma forrageira com biorreatores de bandejas e tambores rotativos, observou que não houve mais aumento e sim, declínio de açúcares redutores totais após o tempo 12 h.

Nos experimentos 3 e 4 utilizando a temperatura de 40 °C nas concentrações de 2 e 6% para os respectivos experimentos, observaram-se consumo de ART de forma mais acelerada até o tempo de 24 h, dando em seqüência um consumo mais suave no decorrer de todo o processo. No tempo de 24 h nota-se um maior aumento de proteína bruta.

Utilizando também a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para o enriquecimento protéico dos resíduos do abacaxi, Correia (2004) observou um comportamento semelhante do ART no tempo de 24 h de fermentação, onde os mesmos tinham sido consumidos quase em sua totalidade.

Comparando os resultados dos gráficos dos experimentos 5, 6 e 7, na temperatura de 35 °C com as concentrações de 4%, foram observados que houve um acelerado consumo de ART até o tempo de 12 h depois seguiu-se de forma mais gradativa até o tempo de 96 h, ao contrário do aumento de proteína bruta que foi inversamente proporcional ao consumo de ART.

Almeida et al. (2009) estudaram o comportamento do consumo de ART durante o processo de fermentação semi-sólido na temperatura 38 °C, para o estudo da bioconversão do mandacaru utilizando o *Aspergillus niger*, e observou uma ligeira queda no consumo de ART, seguindo um consumo mais acentuado no tempo de 72 h. Essa tendência também foi observada nesse estudo onde o comportamento do consumo

do substrato (açúcar) foi acentuado no tempo de 72 h. Tentando avaliar a adequação dos modelos a outro ajuste (que não o de 1ª ordem), realizou-se o teste de curvatura nos modelos da Tabela 12, sendo apresentados os modelos com curvatura na Tabela 13. As Tabelas 12 e 13 apresentam os modelos empíricos codificados sem e também com curvatura, respectivamente, com os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e a razão de  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ . Para a Tabela 14 os modelos empíricos sem curvaturas apresentaram os coeficientes de determinação, todos, menores do que os coeficientes dos modelos com curvatura, e nenhuma razão de  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$  foram significativas, pois as razões foram menores do que 1.

De acordo com a Tabela 12, o modelo com curvatura, observa-se que apenas para os tempos de 4 e 72 h foram significativos por apresentar a razão  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$  maior do que 1. Os demais modelos apresentaram uma razão menor do que 1, sendo assim, não estatisticamente significativos ao nível de 95% de confiança, mesmo os resultados sendo estatisticamente significativo apenas para os tempos de 4 e 72 h, para os modelos com curvatura, isso não significa dizer que os resultados obtidos na cinética da fermentação para enriquecimento protéico sejam ruins, somente os dados não ajustaram aos modelos matemáticos. Os resultados dos dados do modelo da análise de variância (ANOVA), para o modelo com curvatura estão representados nas Tabelas A2 até a A9, do Apêndice A.

**Tabela 12.** Modelos sem curvatura para variável de reposta do enriquecimento protéico de 2 à 96 h de fermentação com as temperaturas de 30, 35 e 40 °C

<b>T (h)</b>	<b>Modelos empíricos codificados</b>	<b><math>R^2</math> (%)</b>	<b><math>F_{\text{cal}}</math> /<math>F_{\text{tab}}</math></b>
2h	<b>Enriq.</b> = <b>89,98871</b> + 21,9875T + 39,31125C + <b>5,99675T.C.</b>	83,38	<b>0,13</b>
4h	<b>Enriq.</b> = <b>70,1900</b> + <b>51,30475T</b> + 19,32275C + 15,32475TC	92,20	<b>0,31</b>
6h	<b>Enriq.</b> = <b>91,130,71</b> + 35,9800T + 35,9800C - 1,33250TC	71,52	<b>0,07</b>
12h	<b>Enriq.</b> = 102,9290 + 37,9703T + 33,9893C + 21,9963TC	34,49	<b>0,01</b>
24h	<b>Enriq.</b> = <b>88,0850</b> - 11,3270T + 579675C + 31,3160TC	75,92	<b>0,08</b>
48h	<b>Enriq.</b> = <b>75,5207</b> + 23,98675T + 53,30375C + 13,32575TC	66,82	<b>0,05</b>
72h	<b>Enriq.</b> = <b>95,69,971</b> + 23,32050 + 53,97000 + 20,65500	83,00	<b>0,13</b>
96h	<b>Enriq.</b> = <b>92,65386</b> + 22,65425 + 49,30575 + 17,32375	80,50	<b>0,11</b>

T – Temperatura; C - Concentração de leveduras; TC - Interação

**Tabela 13.** Modelos com curvatura para variável de reposta do enriquecimento protéico de 2 à 96 h de fermentação com as temperaturas de 30 , 35 e 40 °C

<b>Tempo (h)</b>	<b>Modelos empíricos codificados</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>	<b>F<sub>cal</sub> /tab</b>
2h	<b>Enriq.</b> = 101,1253 – 25,9853Curv. + 21,9877T + <b>39,3112C</b> + 5,9967T.C	95,53	<b>0,55</b>
4h	<b>Enriq.</b> = 79,8037 – 22,4321Curv. + <b>51,3047T</b> + 19,3227C + 15,3248T.C.	98,35	<b>1,55</b>
6h	<b>Enriq.</b> = 111,1195 – <b>46,6405Curv.</b> + <b>35,9800T</b> + <b>35,9800C</b> – 1,3325T.C.	97,25	<b>0,92</b>
12h	<b>Enriq.</b> = 151,755 – <b>113,928Curv.</b> + 37,970T + 33,99C + 21,996TC.	96,77	<b>0,78</b>
24h	<b>Enriq.</b> = 110,4535 – 52,1932Curv. – 11,3270T + <b>57,9675C</b> – 31,3160T.C.	95,76	<b>0,59</b>
48h	<b>Enriq.</b> = 101,7917 – 61,2994Curv. + 23,9867T + <b>53,3038C</b> + 13,3257T.C.	96,76	<b>0,78</b>
72h	<b>Enriq.</b> = 113,1185 – 40,6438Curv. + 23,3205T + <b>53,9700C</b> + 20,6560T.C.	98,10	<b>1,34</b>
96h	<b>Enriq.</b> = 103,1242 – 24,4309 + 22,6543 + 49,3058 + 17,3237	86,84	<b>0,17</b>

Observa-se na Tabela 14 os valores de pH durante o processo de enriquecimento protéico do resíduo do farelo das vagens de algaroba nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C, nas concentrações de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) de 2, 4 e 6%.

Analizando os valores de pH na Tabela 14, observa-se que nos experimentos 1 e 2 na temperatura de 30 °C, os valores oscilaram com uma ligeira tendência de aumento, no tempo de 48 h. Para o experimento 3 e 4 na temperatura de 40 °C, também houve uma oscilação de pH no processo de fermentação ao longo do tempo, porém no tempo de 12 h, observou-se um maior aumento do pH, já para os experimentos 5, 6 e 7 na temperatura de 35 °C, foram observados um maior aumento do pH no tempo de 96 h.

Foi observado que até a temperatura de 12 h as mudanças de pH foram pequenas, porém a partir do tempo de 24 h observou-se um pequeno aumento na maioria dos experimentos.

Não houve nenhum problema de contaminação do substrato com outros tipos de fungos, pois apresentavam boa aparência e odor. Campos (2008) também percebeu oscilações do pH durante a cinética de fermentação do enriquecimento nutricional da palma forrageira.

**Tabela 14.** Teor de pH no processo do enriquecimento protéico do resíduo das vagens de algaroba

Experimentos/ temp. (°C)	Tempo de fermentação (h)								
	0	2	4	6	12	24	48	72	96
<b>1 (30)</b>	4,54	4,75	4,97	4,61	4,72	4,92	5,06	4,88	4,12
<b>2 (30)</b>	4,63	4,86	4,57	4,73	4,89	5,04	5,14	5,04	3,94
<b>3 (40)</b>	4,37	4,28	4,14	4,19	4,43	3,80	4,07	4,28	4,23
<b>4 (40)</b>	4,50	4,06	4,05	3,98	4,28	3,72	3,95	4,23	4,04
<b>5 (35)</b>	4,38	4,21	3,95	3,97	3,89	3,94	4,03	4,03	4,74
<b>6 (35)</b>	4,35	4,09	3,92	3,98	3,88	3,88	3,87	3,97	4,59
<b>7 (35)</b>	4,58	4,14	3,98	4,05	4,06	4,07	4,31	4,42	4,72

A Tabela 15 contém os teores de umidade em base úmida no processo do enriquecimento protéico do resíduo das vagens de algaroba em diferentes concentrações de leveduras e temperaturas.

Observa-se na Tabela 15 todas as umidades dos experimentos diminuíram no decorrer das fermentações. As evaporações da umidade devido às temperaturas fizeram com que os teores de água contidas no substrato evaporassem de forma natural, devido as disposições das camadas dos substratos nos biorreatores de bandejas.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 16, observa-se que houve uma diminuição gradual de todos os teores de umidade no decorrer da fermentação, em alguns casos nota-se um aumento de umidade no processo, isso pode ter ocorrido devido o uso da estufa sem circulação de ar, fazendo com que o ambiente interno ficasse susceptível a troca de umidades durante a abertura da porta da estufa para a retirada do material, favorecendo assim, a entrada de corrente de ar, visto que o ambiente externo estava com a temperatura controlada em torno de 20 °C mantido por ar condicionado.



**Tabela 15.** Teor de umidade (b.u) no processo do enriquecimento protéico dos resíduos das vagens de algaroba.

Experimentos/ temp. (°C)	Tempo de fermentação (h)								
	0	2	4	6	12	24	48	72	96
<b>1 (30)</b>	46,59	46,63	48,93	47,92	43,82	40,85	38,07	35,43	28,18
<b>2 (30)</b>	47,56	48,50	52,12	47,13	41,46	41,74	41,31	38,30	33,05
<b>3 (40)</b>	43,90	46,44	47,78	46,32	45,43	39,58	33,16	14,57	9,77
<b>4 (40)</b>	54,66	52,93	51,81	50,62	49,40	46,33	35,45	26,72	10,82
<b>5 (35)</b>	48,50	49,14	48,66	47,91	48,05	44,58	41,96	35,09	30,87
<b>6 (35C)</b>	46,26	49,97	48,94	48,60	47,95	45,97	44,73	43,17	37,16
<b>7 (35C)</b>	48,45	47,87	49,05	47,57	46,33	44,93	36,14	33,89	28,83

#### 4.3.2. Considerações gerais

Sabe-se o estudo do teor protéico para fermentação semi-sólida do resíduo das vagens de algaroba com outros resultados sobre o desempenho de resíduos para alimentação animal, pode-ser feitas algumas observações como:

Foram obtidos os valores dos teores de proteína bruta e constatou-se o aumento protéico bastante expressivo para esse trabalho, principalmente nos tempos de 12, 48 e 72 h, que apresentaram uma média de 16,24, 24,95 e 14,72% respectivamente, esses valores comparados com a pesquisa de Pinheiro et.al (2001) para rações de frangos de corte demonstra que o estudo bio-econômico, concluiu que a substituição do milho pelo resíduo de vagem de algaroba é viável até o nível de 14% em substituição para o farelo de milho.

Outra condição para o resíduo da vagem se refere, ao uso do farelo da vagem de algaroba em dietas de eqüinos, onde Stein (2002) descreve a substituição em até 100% do milho desintegrado com palha e sabugo em dietas para eqüinos em manutenção, sem afetar o consumo de matéria seca e de energia digestível e os coeficientes de

digestibilidade da matéria seca, matéria orgânica e principalmente a proteína bruta.

Os valores para os teores de proteína bruta encontrados nesse trabalho são similares e/ou maiores do que os teores dos concentrados convencionais, por exemplo: farelo grosso de trigo 15,0%; torta de babaçu 20,5% e coco da Bahia 21,2% (ARAÚJO et al., 2009).

O melhor teor de proteína bruta encontrado nesse estudo durante a cinética de fermentação semi-sólida para o resíduo das vagens de algaroba foi no tempo de 48 h, obtendo uma média de , 24,95% .

# RESULTADOS E DISCUSSÃO DO FERMENTADO DAS VAGENS DE ALGAROBA

## CAPÍTULO 5

## CAPÍTULO 5

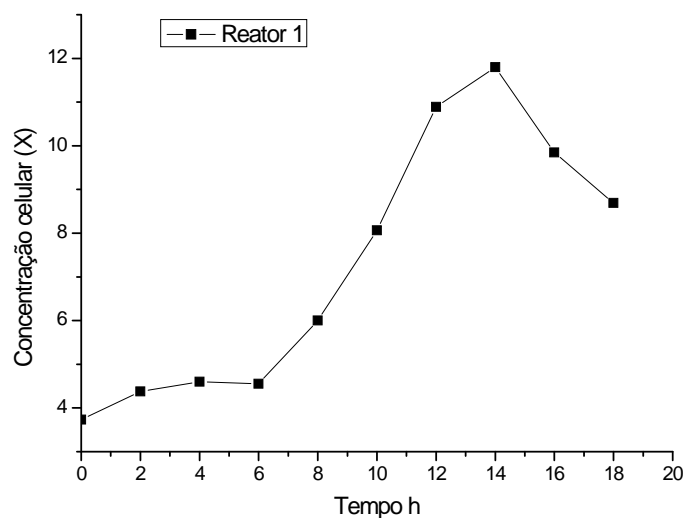
Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussão concernente à produção do fermentado das vagens de algaroba, também todo o estudo cinético relativo ao processo de fermentação alcoólica (conversão dos açúcares em álcool, produtividade, rendimentos de álcool e biomassa), como também a composição físico-química da bebida do fermentado utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* nas concentrações de 10, 15 e 20% e as concentrações de °Brix, nos valores de 15, 18 e 21, utilizando biorreatores de plásticos.

### 5.1. Estudo cinético da concentração celular (biomassa) para produção do fermentado das vagens de algaroba

Para um melhor entendimento do processo do fermentado das vagens de algaroba, se faz importante um estudo cinético de toda a fermentação, pois serão através desses valores que se pode confrontar com outros dados experimentais já estudados e assim, delinear parâmetros que possa ser útil a um novo produto que está sendo produzido.

Durante a fermentação alcoólica do fermentado de algaroba, pode-se observar nas Figuras 39, 41, 43, 45, 47, 49 e 51 os comportamentos do crescimento celular através do tempo em cada biorreator (1 a 7). As Figuras 40, 42, 44, 46, 48, 50 e 52 observa-se um comportamento do logaritmo neperiano do crescimento celular através do tempo em cada reator utilizando-se apenas dados da fase log de crescimento(fase máxima de crescimento celular).

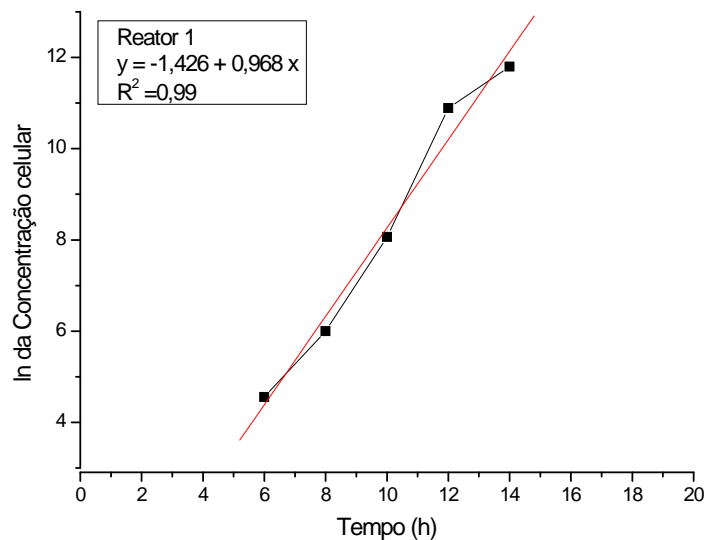
Na Figura 39 encontra-se o comportamento do crescimento celular do reator 1 obtido na concentração de 15 °Brix e 10 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 39.** Comportamento do crescimento celular no reator 1 (15 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)

Analisando a fase de crescimento da Figura 39, observa-se que a fase de crescimento celular ou a fase exponencial começa no tempo de 6 h de fermentação depois houve o declínio a partir do tempo de 14 h até o final da fermentação que foi no tempo de 18 h.

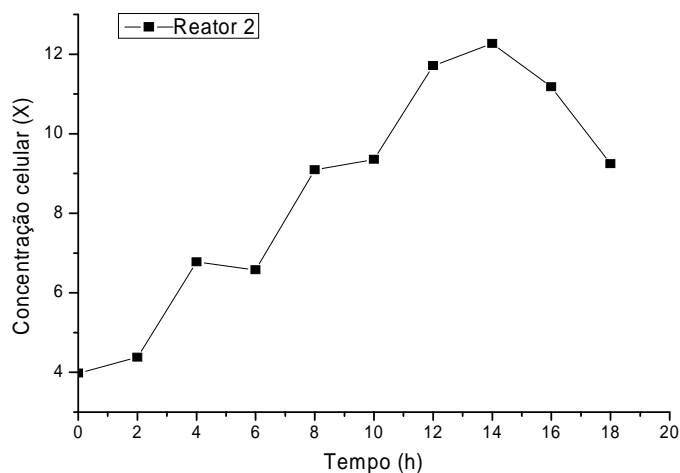
A Figura 40 apresenta o cálculo da taxa de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) do reator 1 obtido na concentração de 15 °Brix e 10 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 40.** Cálculo da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o processo fermentativo no reator 1 (15 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)

Observando a Figura 40, verifica-se que a velocidade de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) foi de 0,968 h<sup>-1</sup> (coeficiente angular da reta).

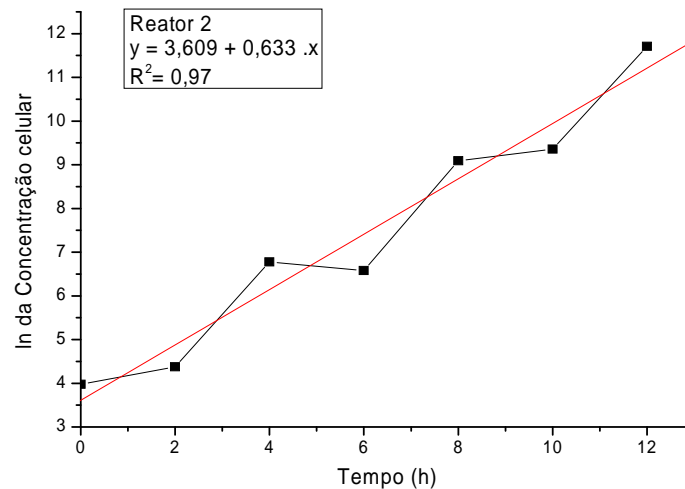
A Figura 41 apresenta o comportamento do crescimento celular do reator 2 obtido na concentração de 21 °Brix e 10 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 41.** Comportamento do crescimento celular no reator 2 (21 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)

Observa-se na Figura 41 que a fase de crescimento celular iniciou-se no tempo de 2 até às 14 h, depois começou a decrescer.

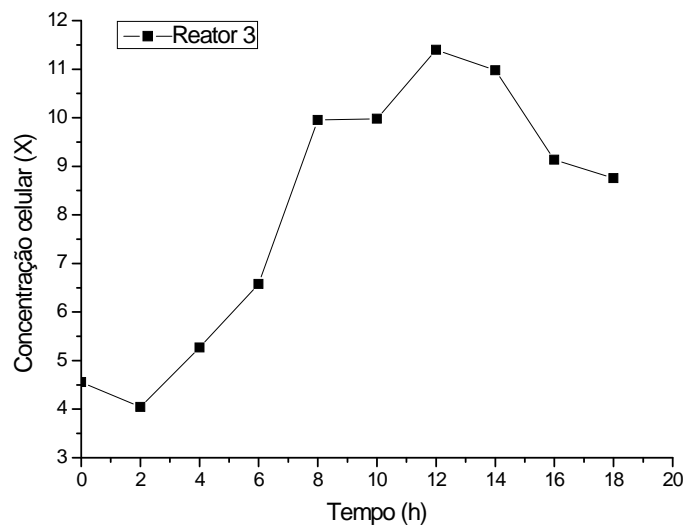
Na Figura 42 é apresentado o cálculo da taxa de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) no reator 2 obtido na concentração de 21 °Brix e 10 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 42.** Cálculo da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o processo fermentativo do reator 2 (21 °Brix, 10 g L<sup>-1</sup>)

A velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o reator 2 no processo fermentativo foi de 0,633 h<sup>-1</sup> (coeficiente angular da reta).

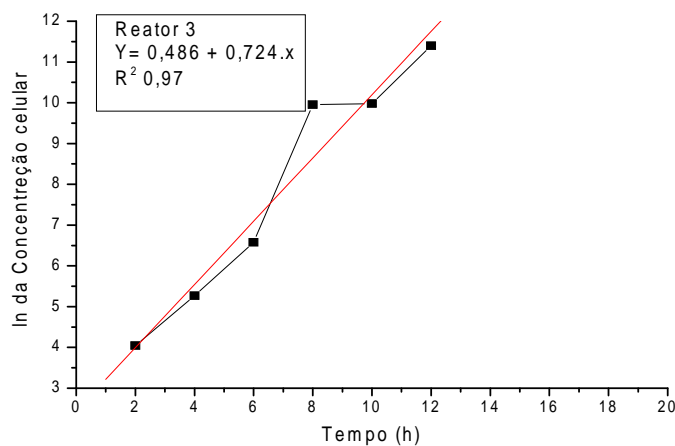
Na Figura 43 apresenta-se o comportamento do crescimento celular do reator 3 obtido na concentração de 15 °Brix e 20 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 43.** Comportamento do crescimento celular no reator 3 (15 °Brix, 20 g L<sup>-1</sup>)

Analisando a Figura 43 tem-se a fase máxima de crescimento celular ou a fase log iniciando no tempo de 2 h da fermentação e finalizando essa fase de crescimento no tempo de 12 h.

Na Figura 44 apresenta-se o cálculo da taxa de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) no reator 3 obtido na concentração de 15 °Brix e 20 g L<sup>-1</sup> de levedura.

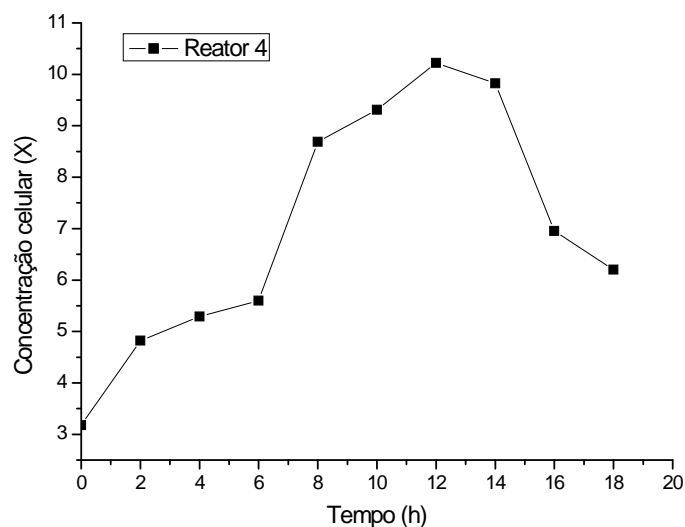


**Figura 44.** Cálculo da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o processo fermentativo do reator 3. (15 °Brix, 20 g L<sup>-1</sup>)



Na Figura 44 observa-se que a velocidade específica do crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o reator 3 foi de  $0,724 \text{ h}^{-1}$  (coeficiente angular da reta).

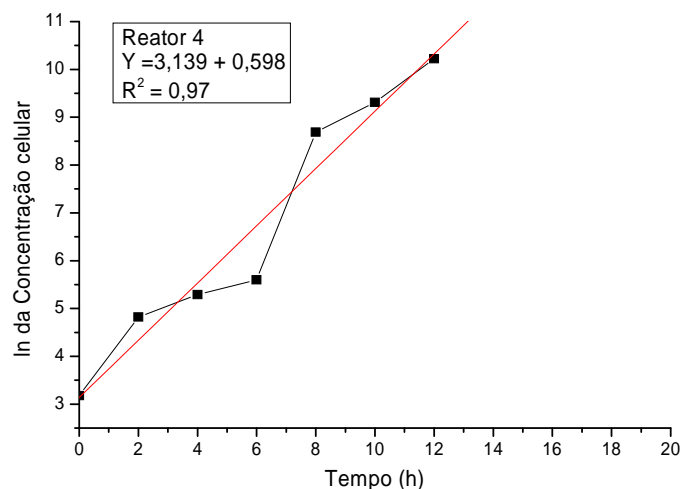
A Figura 45 apresenta-se o comportamento do crescimento celular no reator 4 obtido na concentração de  $21^{\circ}\text{Brix}$  e  $20 \text{ g L}^{-1}$  de levedura.



**Figura 45.** Comportamento do crescimento celular no reator 4 ( $21^{\circ}\text{Brix}$ ,  $20 \text{ g L}^{-1}$ )

Observa-se na Figura 45 que a fase de crescimento celular se iniciou no tempo de 2 h prolongando até o tempo de 12 h, em seguida observa-se o declínio do comportamento.

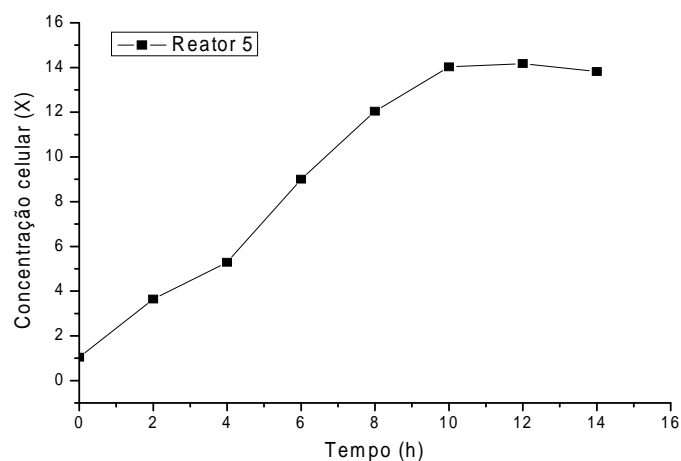
A Figura 46 apresenta o cálculo da taxa de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) no reator 4 obtido na concentração de  $21^{\circ}\text{Brix}$  e  $20 \text{ g L}^{-1}$  de levedura.



**Figura 46.** Cálculo da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o processo fermentativo do reator 4 (21 °Brix, 20 g L<sup>-1</sup>)

Ao observar a Figura 46, verifica-se que a velocidade de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) foi de 0,598 h<sup>-1</sup> ( coeficiente angular da reta)

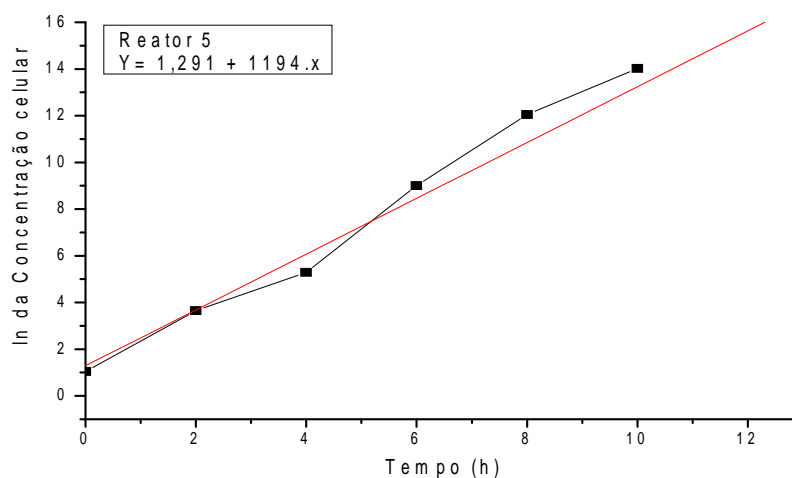
A Figura 47 apresenta o comportamento do crescimento celular no reator 5 obtido na concentração de 18 °Brix e 15 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 47.** Comportamento do crescimento celular no reator 5 (18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup>)

Analisando-se a Figura 47, observa-se que a fase máxima de crescimento celular ou fase log começa no tempo de 2 h de fermentação estendendo-se até as 12 h, quando ocorreu um crescimento quase que constante durante este processo, prolongando-se depois até o tempo de 14 h.

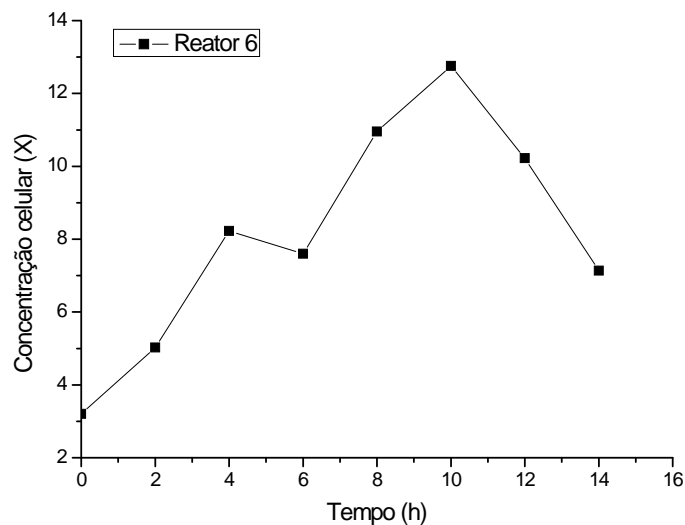
A Figura 48 apresenta o cálculo da taxa de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) no reator 5 obtido na concentração de 18 °Brix e 15 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 48.** Cálculo da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o processo fermentativo do reator 5 (18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup>)

Ao se observar a Figura 48, verifica-se que a velocidade de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o reator 5 foi de 1,194 h<sup>-1</sup> (coeficiente angular da reta).

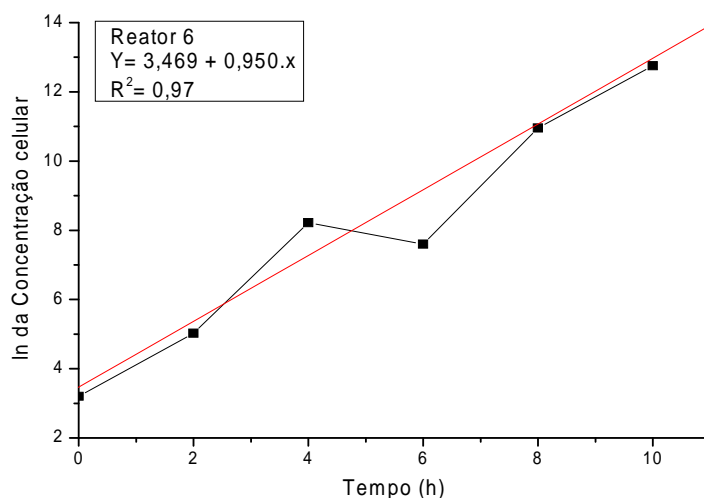
Na Figura 49 apresenta-se o comportamento do crescimento celular do reator 6 obtido na concentração de 18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 49.** Comportamento do crescimento celular no reator 6 (18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup>)

Verificando-se a Figura 49, tem-se que a fase de crescimento celular ou fase log, começa no tempo de 2 h de fermentação e entra em caimento a partir do tempo de 12 h, até o final do processo.

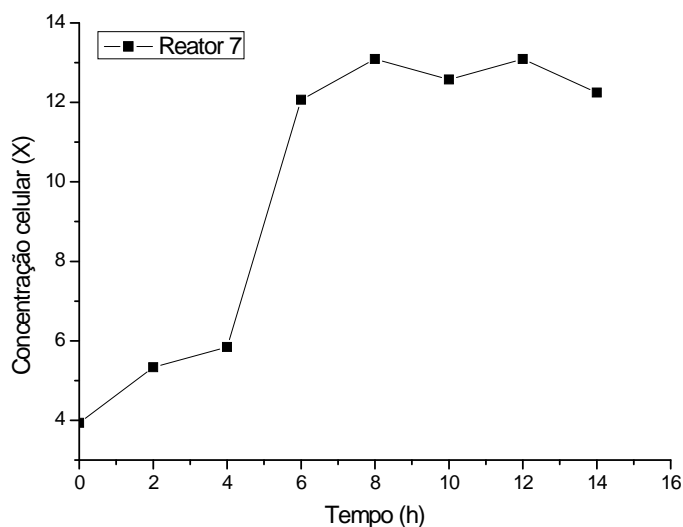
Na Figura 50 apresenta-se o cálculo da taxa de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) no reator 6 obtido na concentração de 18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup> de levedura.



**Figura 50.** Cálculo da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o processo fermentativo do reator 6. (18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup>)

A velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o reator 6 foi de  $0,950 \text{ h}^{-1}$  (coeficiente angular da reta).

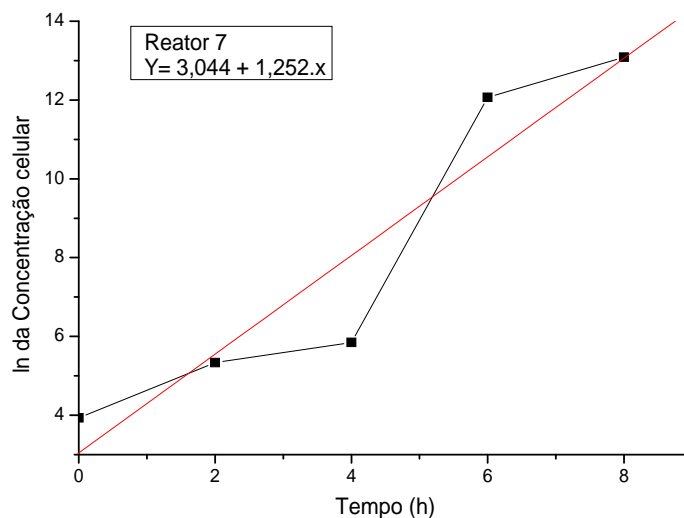
A Figura 51 apresenta-se o comportamento do crescimento celular no reator 7 obtido na concentração de  $18^\circ\text{Brix}$ ,  $15 \text{ g L}^{-1}$  de levedura.



**Figura 51.** Comportamento do crescimento celular no reator 7 ( $18^\circ\text{Brix}$ ,  $15 \text{ g L}^{-1}$ )

Ao analisar a fase de crescimento da Figura 51, observa-se que a fase de crescimento celular, ou seja, a fase log que começa no tempo de 4 h de fermentação e depois do tempo de 8 h houve oscilações no crescimento a partir do tempo de 14 h houve um declínio.

Na Figura 52 apresenta-se o cálculo da taxa de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) no reator 7 obtido na concentração de  $18^\circ\text{Brix}$ ,  $15 \text{ g L}^{-1}$  de levedura.



**Figura 52.** Cálculo da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o processo fermentativo do reator 7 (18 °Brix, 15 g L<sup>-1</sup>).

A velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) para o reator 7 foi de 1,252 h<sup>-1</sup> (coeficiente angular da reta).

Foi observado que houve um aumento celular dentro dos biorreatores para todos os experimentos no decorrer do processo de fermentação alcoólica das vagens de algaroba. Verificou-se um aumento exponencial da fase exponencial para o experimento 1 entre o tempo de 6 a 14h, com um R<sup>2</sup> de 99,00%, segundo modelo linear. Para o experimento 2, foi observado também um aumento da concentração celular, tendo uma fase estacionária entre o tempo de 8 a 10, em seguida voltou a sua fase de crescimento até o tempo de 14, o R<sup>2</sup> foi de 97,00%; no experimento 3, observou-se uma fase de crescimento e de adaptação dos microrganismos, porém houve um crescimento até o tempo de 12h o coeficiente de determinação também foi de 97,00%; no experimento 4, observou-se um aumento exponencial da concentração celular até o tempo de 12 h, , depois seguiu-se esse aumento até o tempo de 14h de forma mais gradativa, o R<sup>2</sup> foi de 93,00%, no experimento 5 verificou-se um aumento celular suave até o tempo de 10h, tendo o R<sup>2</sup> valor de 98,43%; para o experimento 6 também houve um aumento da biomassa até o tempo de 10h com o R<sup>2</sup> de 99,08% e para o experimento 7 observou-se

um aumento até o tempo de 8 h seguido de oscilações no crescimento até o tempo de 14 h, com o coeficiente de determinação de 94,17%.

Almeida et al. (2009) estudando a bioconversão do mandacaru observaram, da mesma forma dos experimentos 2 e 3, que houve um aumento lento nas primeiras horas de fermentação e um aumento da concentração celular até o tempo de 12 h de fermentação, demonstrando assim, que não houve uma fase de adaptação para as leveduras. Todos os experimentos demonstraram variações no início e término das concentrações celulares, porém todos demonstraram um bom crescimento das biomassas, como essas variações dependem de alguns fatores, como a linhagem de levedura utilizada, bem como a concentração inicial de açúcares totais. As altas concentrações de açúcares totais no início da fermentação podem causar uma inibição e retardar o consumo de substrato por parte das leveduras.

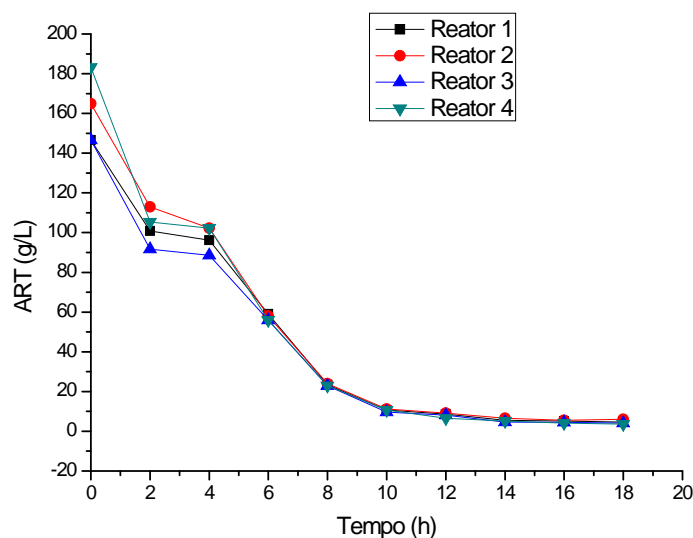
Ao analisar as Figuras 40, 42, 44, 46, 48, 50 e 52, constata-se que a média da velocidade específica de crescimento celular ( $\mu_{\text{máx}}$ ) é de  $0,902 \text{ h}^{-1}$ . Andrietta & Stuppiello (1990), estudando a avaliação da influência da velocidade de alimentação sobre o rendimento e a produtividade dos processos de produção de etanol em batelada alimentada, com a adição de 20% de cepa da levedura Y904, chegaram a um  $\mu_{\text{máx}}$  de  $0,45 \text{ h}^{-1}$ .

Observando os valores encontrados na literatura pode-se dizer que a velocidade de crescimento celular do fermentado do resíduo das vagens de algaroba foi alta, esse alto valor de  $\mu_{\text{máx}}$  no processo fermentativo em estudo pode ser atribuído à interação positiva do metabolismo da levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) com os açúcares presentes no resíduo.

## **5.2. Estudo cinético dos açúcares redutores totais (ART) para produção do fermentado das vagens de algaroba**

Conforme o planejamento fatorial, foram realizados 7 experimentos para a produção do fermentado, durante esse processo foram observados alguns desempenhos nos dados dos açúcares redutores totais, para tanto, é bom salientar que não houve

nenhum processo de chaptalização no meio do mosto para corrigir o ART e sim corrigido em °Brix com o próprio caldo das vagens de algaroba. A Figura 53 demonstra todo o comportamento desses processos.



**Figura 53.** Comportamento dos substratos (ART) durante o processo de fermentação alcoólica nos 4 experimentos (°Brix e concentração de leveduras)

Observa-se na Figura 53, perfis de decaimento de ART ao longo do processo fermentativo, similares para os 4 experimentos, com valores de °Brix e concentração de leveduras iniciais diferentes.

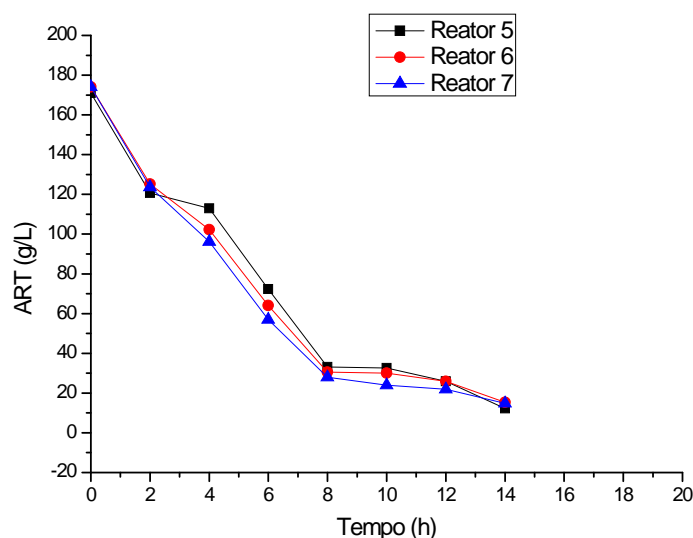
De acordo com a Figura 53, cada mosto encontrado nos reatores eram corrigidos e assim iniciados com os seus respectivos °Brix, para dar início a fermentação alcoólica, foram observados para os reatores 1 e 3, que possuíam um menor valor de sólidos solúveis totais, ou seja, de 15 °Brix, uma acentuada queda nos açúcares redutores totais devido o consumo do próprio açúcar que estava contido no mosto, essa redução acentuada foi observada até o tempo de 10 h, onde depois foi observado o consumo de açúcares de maneira mais sutil.

Para os reatores 2 e 4, com os teores iniciais de 21 °Brix observou-se também que houve um consumo acelerado de açúcar até o tempo de 10 h, dando uma desacelerada



até o tempo final da fermentação. No tempo de 18 h de fermentação, foi observado para o reator 1, um nível de  $4,58 \text{ g L}^{-1}$  e para o reator 3, um nível de  $4,07 \text{ g L}^{-1}$  de ART, isso significa dizer que houve um consumo do substrato de 97% para o reator 1 e 3; para os reatores 2 e 4 observou-se no tempo de 18 h um nível de 5,99 e  $3,56 \text{ g L}^{-1}$ , tendo um consumo de açúcares de 97 e de 98% respectivamente.

Almeida et al. (2009) encontraram para o início da fermentação para bioconversão do mandacaru um nível de ART de  $120, \text{ g L}^{-1}$ , chegando a uma estabilidade após o tempo de 30 h.



**Figura 54.** Comportamento dos substratos (ART) durante o processo de fermentação alcoólica em 3 experimentos do ponto central ( $^{\circ}\text{Brix}$  e concentração de leveduras)

Conforme a Figura 54 para os 3 reatores no ponto central com os teores de 18  $^{\circ}\text{Brix}$  iniciais, foram observados um consumo de açúcares de forma acentuada até o tempo de 8 h, seguindo de um consumo de forma mais gradativa até o final da fermentação, no tempo de 14 h.

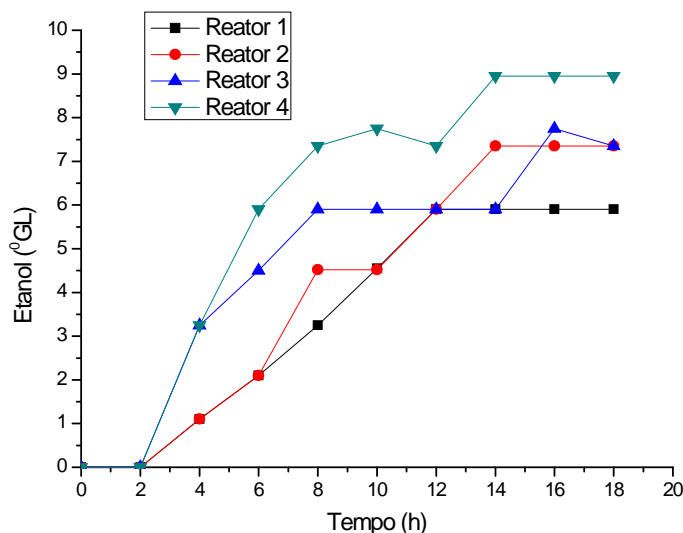
Observando a Figura e 55, verifica-se que houve uma redução na concentração de ART nas primeiras 8 h da fermentação alcoólica, tornando-se mais lenta até o tempo 14 h, atingindo um nível médio final de  $14,08 \text{ g L}^{-1}$  de ART com 14 h de fermentação em decorrência do consumo do substrato pelo microrganismo, indicando que o substrato

já havia sido consumido quase que completamente, representando um consumo de 75,64% de ART. Para a Figura 54 observa-se que houve a redução da concentração de ART nas primeiras 10 h da fermentação, seguindo com a tendência de estabilização até o tempo de 14 h, onde atingiu um nível médio de  $4,55 \text{ g L}^{-1}$  de ART, mostrando assim, um consumo do 92,70%.

Dessa forma, pode ser observado que os reatores de 1 à 4 torna-se melhor a reprodutibilidade do consumo de ART do que os dados experimentais com os mesmos níveis de 18 °Brix e 15% de concentração de levedura.

### 5.3. Estudo cinético da produção do etanol durante a produção do fermentado das vagens de algaroba

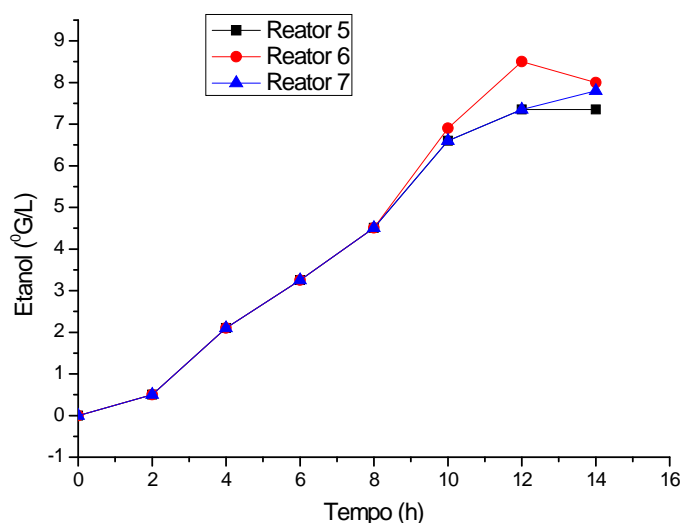
Através da produção de etanol durante o processo de fermentação do mosto das vagens de algaroba, observados nas Figuras 55 e 56 nos 7 experimentos, dará suporte para determinar os resultados referentes aos parâmetros de percentagem de conversão, produtividade e rendimento teórico da cinética fermentativa.



**Figura 55.** Curvas de produção de etanol durante a fermentação alcoólica nos experimentos 1, 2, 3 e 4

Observa-se que houve um aumento dos perfis de produção de etanol para todos os experimentos, a partir do tempo de 2 h, sendo o tempo de 18 h de produção alcoólica para todos. Observa-se que para o experimento 1 relativo ao biorreator com 15 °Brix e 10 g de levedura, obteve-se a menor produção de álcool, ou seja, de 5,9 °GL, correspondendo a uma concentração de etanol de 46,58 °GL.

Resultado semelhante foi encontrado por Lopes et al. (2005) quando produziram o vinho do fruto da palma forrageira com a mesma levedura, observando o valor de 43,5 °GL; Os reatores 2 e 3, obtiveram-se os mesmos valores de produção de 7,5 °GL, que corresponde a 58,0 °GL de álcool. Estudo realizado por Almeida et al. (2009), também encontraram valor semelhante na produção do fermentado de mandacaru no valor de 61,27 °GL. O experimento 4 iniciado com 21 °Brix e 20 g de *Saccharomyces cerevisiae* foi que obteve a melhor produção de álcool, com 8,95 °GL para o fermentado no tempo de 18 h.



**Figura 56.** Curvas de produção de etanol durante a fermentação alcoólica nos experimentos 5, 6 e 7 do ponto central

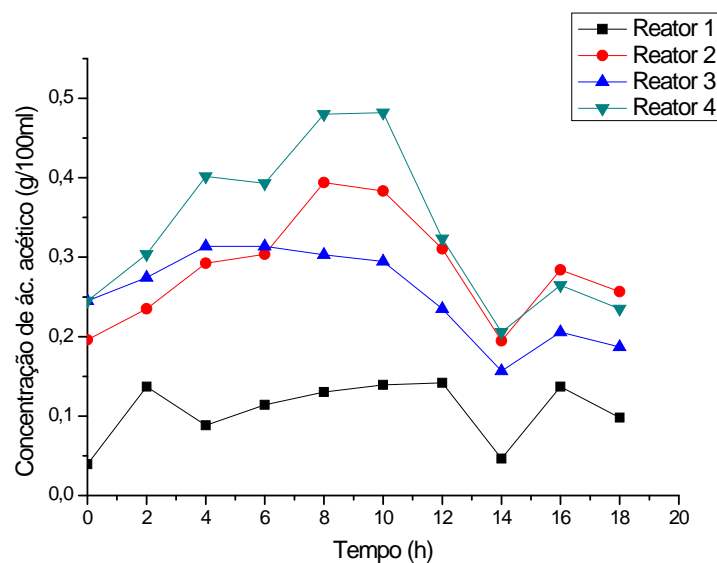
Para os 3 reatores do ponto central, correspondente a 18 °Brix e 15 g L<sup>-1</sup>, também foram observados que só houve o início da produção do álcool a partir do tempo de 2 h de fermentação, nota-se que no tempo de 10 h a produção de álcool foi praticamente semelhante para todos, chegando na concentração final a uma produção de

etanol nos valores de 7,35 °GL para o 1º experimento; 8,0 °GL para o 2º experimento, e para o 3º experimento 7,80 °GL . A legislação brasileira estabelece que o fermentado de fruta é a bebida com graduação alcoólica que corresponde de 4 a 14% em volume, a 20 °C, obtida da fermentação alcoólica do mosto de fruta sã, fresca e também madura (Brasil, 1997).

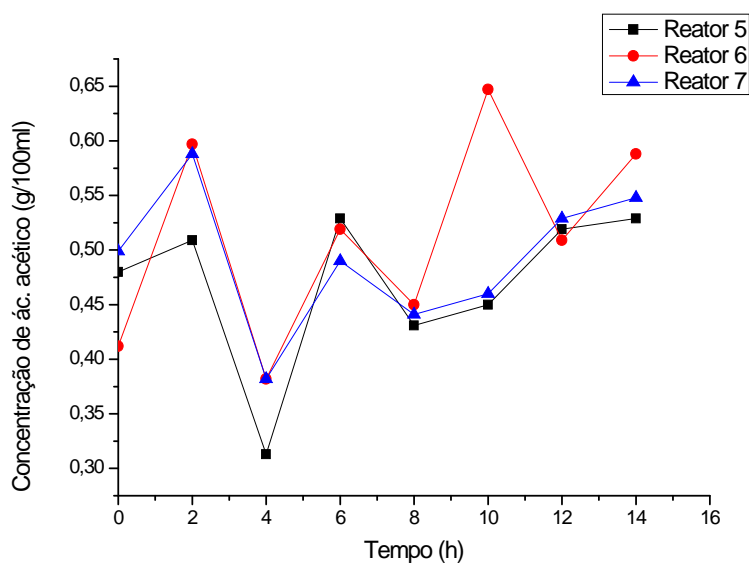
#### **5.4. Estudo cinético dos teores de acidez e pH durante a produção do fermentado das vagens de algaroba**

A acidez total nada mais é do que a soma da acidez volátil e a fixa, ela é determinada através da titulometria. É através dela que se determinam as funções ácidas livres presentes nos mosto do fermentado, nas Figuras 50 e 51 são apresentados todos os perfis de concentrações acéticas no decorrer de todo processo do fermentado do mosto das vagens de algaroba.

Para os processos dos fermentados também foram analisados o pH do caldo de algaroba durante toda fermentação. Essas análises facilitam uma avaliação de como está sendo fermentado o produto, uma vez que uma possível infecção bacteriana ou mesmo outros problemas ocasionais possa provocar um aumento do pH, comprometendo assim, todo o processo. As Figuras 57 e 58 apresentam todo o decorrer do estágio do pH na cinética do processo do fermentado.



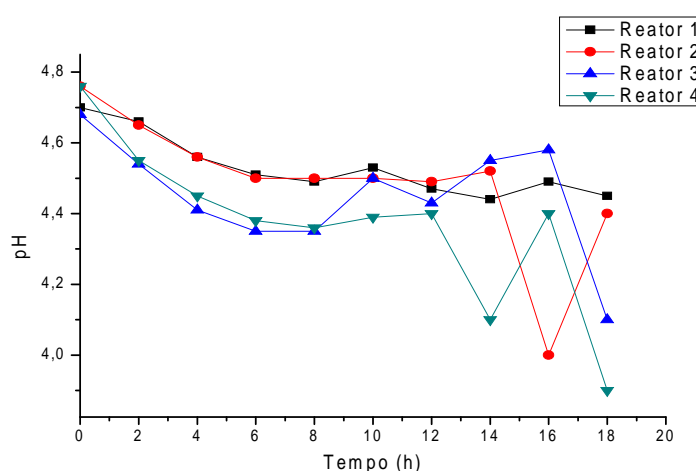
**Figura 57.** Concentração da acidez total, para os experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica



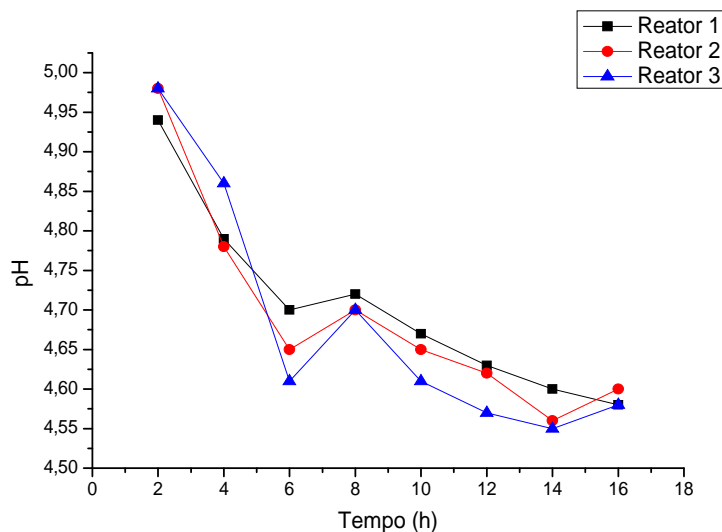
**Figura 58.** Concentração da acidez total, para experimento 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica

Foram observados na Figura 57 para os experimentos de 1 a 4 que houve um aumento para os teores de acidez, seguido de grandes variações da acidez total durante todo o processo do fermentado, demonstrando um perfil de tendência de diminuição no final da fermentação. Para a Figura 58 representadas pelos experimentos 5, 6, e 7 do ponto central, observou-se também uma variação nas concentrações de acidez no decorrer do processo de fermentação tendo uma tendência contrária nos primeiros experimentos, ou seja, no final da fermentação as concentrações de acidez convergia para um aumento.

O menor teor de acidez encontrado nos fermentados foi no experimento 3, com o nível de 0,30 g por 100 mL e o maior foi no experimento 6, com o teor de 0,65 g por 100 mL. De acordo com Rizzon (2001) as variações de acidez durante o processo de fermentação têm grande influência na estabilidade e coloração das bebidas fermentadas que estão sendo produzidas. Segundo Borzani & Boralle (1983), o aumento da acidez no processo de fermentação se deve, provavelmente, a produção de ácidos orgânicos, láctico e acético succínico. Segundo a legislação brasileira, para os fermentados de frutas, o teor de acidez total deve está compreendido na faixa de 3,3 a 7,8 g L<sup>-1</sup> que corresponde a 55 a 130 meq L<sup>-1</sup>. Observa-se que nos processos de produção de fermentado, o teor de acidez total estão dentro da faixa aceitável segundo a legislação vigente brasileira (Brasil, 2005).



**Figura 59.** Comportamento do pH dos experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica



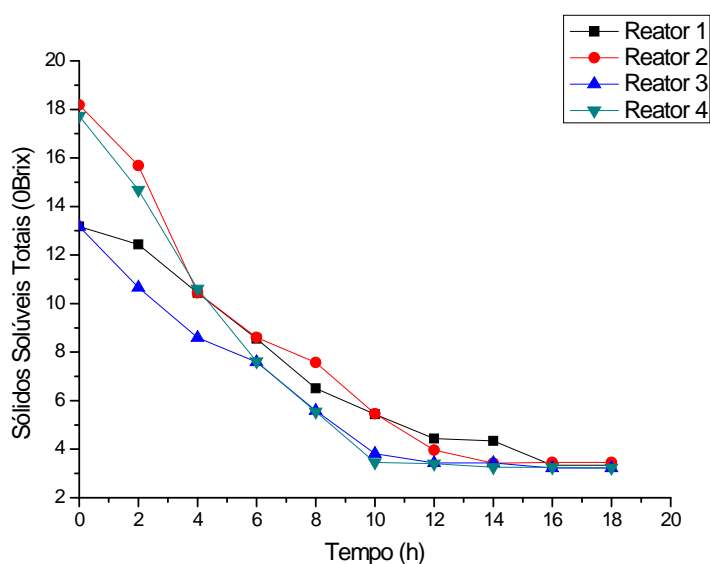
**Figura 60.** Comportamento do pH dos experimentos 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica

Observando a Figura 59, verifica-se que houve uma redução do teor de pH ao longo da fermentação a partir do tempo de 12 h. Observa-se oscilações nas faixas de pH para todos, tendo os experimentos 3 e 4 uma forte queda até o final da fermentação, enquanto que o experimento 2 demonstra um aumento e o experimento 1 tende a se manter numa faixa constante.

Para os experimentos 5, 6 e 7 do ponto central, foram observados uma queda nos teores de pH até o tempo de 12 h de fermentação, em seguida houve um aumento de pH 2 h depois, ou seja, no tempo 8, seguindo novamente uma queda suave até o tempo 14 h, e em seguida tendendo a uma pequena elevação de pH nos experimentos 6 e 7. Os maiores teores encontrados foi de 4,75 para o experimento 2 e 4 e o menor, no experimento 4, no tempo de 18 h, com o pH de 3. Comumente, o fermentado de fruta apresenta pH variando entre 3,0 e 4,0. De acordo com Bortolini et al. (2001) em trabalhos com fermentados com kiwi verificaram que a faixa encontrada para o pH foi entre 3,82 a 4,45 e esse teor foi suficiente para inibir bactérias indesejáveis dentro do mosto. Furletti (1986) afirma que a faixa que pode reger uma boa fermentação está entre o pH de 4,0 a 4,5.

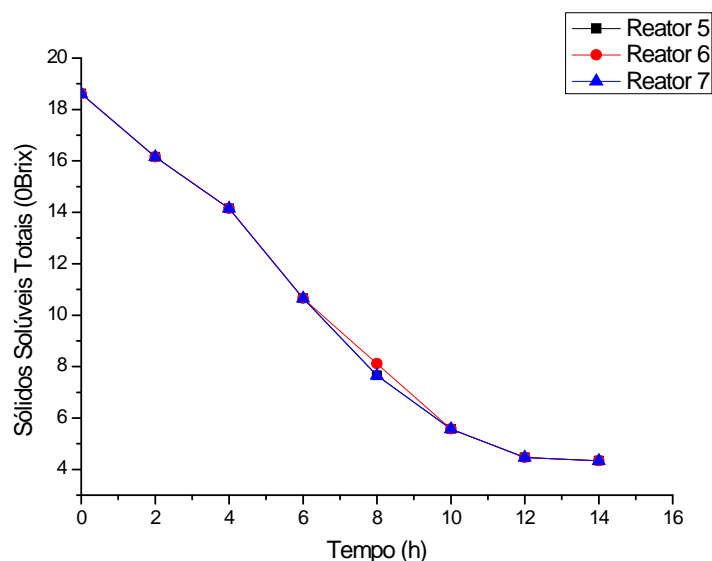
### 5.5. Estudo cinético do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) durante a produção do fermentado das vagens de algaroba

O °Brix indica o teor aproximado de açúcar no mosto do fermentado das vagens de algaroba, sendo assim, o mosto com 10 °Brix contém aproximadamente 10% de açúcar. Considerando-se que 2 °Brix produz aproximadamente 1 °GL após a fermentação, dessa forma, os dados abaixo darão quanto foi o consumo de açúcar para o processo de transformação em álcool durante o processo de fermentação.



**Figura 61.** Comportamento dos Sólidos Solúveis Totais (°Brix) dos experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica





**Figura 62.** Comportamento dos Sólidos Solúveis Totais (°Brix) dos experimentos 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica

De acordo com os experimentos 1, 2, 3 e 4, observou-se que houve um consumo dos sólidos solúveis totais em todo o processo de fermentação dentro do caldo de algaroba através da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, observa-se que em 18 h houve a instabilidade de consumo desse substrato (açúcar). Para os experimentos 5, 6 e 7 no ponto central, quase não houve variação entre os experimentos. No tempo de 14 h observou-se a parada de consumo dos sólidos solúveis totais. Arruda et al. (2003), com trabalho realizado com fermentado de banana utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, observaram também um consumo gradual dos sólidos solúveis totais em todo o processo de fermentação, finalizando com o teor de °Brix em torno de 3,5. Almeida et al. (2009) com estudo do fermentado de mandacaru, também verificaram uma redução gradativa no teor de sólidos solúveis totais finalizando a cinética do experimento com o teor de Brix em torno de 5,0.

Observa-se então, para esse experimento, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* que os sólidos solúveis totais demonstram uma boa reprodutibilidade com as variáveis de entrada para todos os níveis.

### 5.6. Estudo do planejamento fatorial dos parâmetros de conversão, produtividade de álcool (etanol), rendimento teórico, % conversão e rendimento da biomassa durante a produção do fermentado das vagens de algaroba

As Tabelas 16, 17, 18 e 19 apresentam os modelos de ajuste linear com os seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), demonstrando a influência das variáveis de respostas dos experimentos, dos modelos empíricos codificados para os perfis de produtividade,  $g (L h)^{-1}$ , rendimento teórico ( $Yp/s$ ), respostas de conversão (%) e rendimento em celular ( $Yp/x$ ).

**Tabela 16.** Modelos para variável de repostas de aumento de produtividade em  $g (L.h)^{-1}$  após 18 h de fermentação

Tempo (h)	Modelos empíricos codificados	$R^2$ (%)	$F_{cal}/F_{tab}$
2	<b>Prod</b> = $0,56 + 0,00B + 0,00F + 0,00BF$	0,00	<b>0,0</b>
4	<b>Prod</b> = $3,78 + 0,00B + 2,12F + 0,00BF$	66,38	<b>0,36</b>
6	<b>Prod</b> = $4,36 + 0,46B + 2,04F + 0,46BF$	84,56	<b>1,01</b>
8	<b>Prod</b> = $4,69 + 0,67B + 1,37F + 0,04BF$	73,48	<b>0,51</b>
10	<b>Prod</b> = $4,64 + 0,36B + 0,90F + 0,37BF$	59,60	<b>0,27</b>
12	<b>Prod</b> = $4,50 + 0,30B + 0,30F + 0,30BF$	39,00	<b>0,11</b>
14	<b>Prod</b> = $4,20 + 0,63B + 0,23F + 0,23BF$	68,28	<b>0,39</b>
16	<b>Prod</b> = $3,69 + 0,32B + 0,42F - 0,031BF$	1,0	<b>0,0</b>
18	<b>Prod</b> = $3,26 + 0,30B + 0,36F - 0,01BF$	1,0	<b>0,0</b>

B – Brix; F – Fermento

**Tabela 17.** Modelos para variável de repostas de aumento de rendimento teórico ( $Y_p/s$ ) após 18 h de fermentação

Tempo (h)	Modelo empíricos codificados	$R^2$ (%)	$F_{cal}/F_{tab}$
2	$Y_p/s = 0,02 + 0,00B + 0,00F + 0,00BF$	0,00	<b>0,0</b>
4	$Y_p/s = \mathbf{0,23} + 0,03B + 0,01F - 0,023BF$	64,75	<b>0,34</b>
6	$Y_p/s = \mathbf{0,25} - 0,01B + \mathbf{0,103F} + 0,002BF$	81,59	<b>0,82</b>
8	$Y_p/s = \mathbf{0,27} + 0,0075B + 0,07F - 0,015BF$	63,77	<b>0,32</b>
10	$Y_p/s = \mathbf{0,32} - 0,0043B + 0,05F + 0,012BF$	42,06	<b>0,13</b>
12	$Y_p/s = \mathbf{0,36} - 0,007B + 0,011F + 0,012BF$	8,90	<b>0,01</b>
14	$Y_p/s = \mathbf{0,37} + 0,027B + 0,007F + 0,008BF$	34,22	<b>0,09</b>
16	$Y_p/s = 0,37 + 0,00B + 0,03F - 0,01BF$	0,1	<b>0,0</b>
18	$Y_p/s = 0,37 - 0,00B + 0,003F - 0,01BF$	0,1	<b>0,0</b>

**Tabela 18.** Modelos para variável de repostas de conversão (%) após 18 h de fermentação

Tempo (h)	Modelo empíricos codificados	$R^2$ (%)	$F_{cal}/F_{tab}$
2	$\% = 0,045 + 0,00B + 0,00F + 0,00BF$	0,00	<b>0,0</b>
4	$\% = \mathbf{44,74} - 7,77 B + 21,93F - 4,48BF$	64,78	<b>0,34</b>
6	$\% = \mathbf{48,55} - 2,92B + \mathbf{20,27F} + 0,37BF$	81,61	<b>0,82</b>
8	$\% = \mathbf{52,52} + 1,65B + 13,38F - 2,73BF$	63,5	<b>0,32</b>
1	$\% = \mathbf{61,87} - 0,87B + 9,7F + 2,28BF$	42,04	<b>0,13</b>
12	$\% = \mathbf{70,55} - 1,40B + 2,25F + 2,37BF$	9,06	<b>0,01</b>
14	$\% = \mathbf{73,17} + 5,13B + 1,36F + 1,59BF$	33,58	<b>0,09</b>
16	$\% = 74,30 - 0,07B + 6,45F - 3,50BF$	0,1	<b>0,0</b>
18	$\% = 74,06 - 0,04B + 6,32F - 3,58BF$	0,1	<b>0,0</b>

**Tabela 19.** Modelos para variável de repostas de aumento de rendimento celular ( $Y_{x/s}$ ) após 18 h de fermentação

Tempo (h)	Modelo empíricos codificados	$R^2$ (%)	$F_{cal}/F_{tab}$
2	$Y_{x/s} = 0,024 + 0,075B + 0,014F + 0,008BF$	80,70	<b>0,77</b>
4	$Y_{x/s} = 0,038 + 0,010B - 0,006F - 0,003 BF$	17,23	<b>0,03</b>
6	$Y_{x/s} = 0,038 + 0,003B + 0,002F - 0,004BF$	0,27	<b>0,00</b>
8	$Y_{x/s} = 0,055 - 0,011B - 0,007F + 0,006BF$	46,51	<b>0,14</b>
10	$Y_{x/s} = 0,050 + 0,035B + 0,006F - 0,0055BF$	8,1	<b>0,01</b>
12	$Y_{x/s} = 0,052 + 0,002B + 0,002F - 0,007BF$	1,00	<b>0,01</b>
14	$Y_{x/s} = 0,049 + 0,017B - 0,053F - 0,022BF$	8,3	<b>0,01</b>
16	$Y_{x/s} = 0,028 - 0,003B - 0,005F - 0,002BF$	0,1	<b>0,0</b>
18	$Y_{x/s} = 0,020 - 0,030B - 0,005F - 0,002BF$	0,1	0,0

Observando as Tabelas, 16, 17, 18 e 19 verifica-se que os modelos lineares codificados das repostas não foram estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança, isto significa dizer que os modelos aplicados a esse estudo não apresentam bom ajuste ao modelo linear dos dados dos experimentos, onde a maioria dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram muito baixo, da mesma forma foi observado para as razões de  $F_{cal}/F_{tab}$ .

Mediante as Tabelas apresentadas, observa-se que para os modelos empíricos codificados para produtividade,  $g (L h)^{-1}$ , apenas para o tempo 6 foi estatisticamente significativo por apresentar o  $F_{cal}/F_{tab}$  maior do que 1, para os modelos empíricos de rendimento teórico ( $Y_p/s$ ), conversão (%) e rendimento celular ( $Y_{x/s}$ ) nenhum modelo foi estatisticamente significativo, pois apresentou o  $F_{cal}/F_{tab}$  menor do 1. Mesmo não ajustando aos modelos aqui expostos, os parâmetros de produtividade, rendimento teórico, conversão e rendimento celular foram aceitáveis diante as suas boas reprodutibilidades.

### 5.7. Estudo cinético dos parâmetros durante a produção do fermentado das vagens de algaroba

Na Tabela 20 estão os resultados dos parâmetros cinéticos do processo fermentado em estudo (percentual de conversão, produtividade da bebida fermentada do resíduo das vagens de algaroba  $Y_{x/s}$ ,  $Y_{p/s}$ ), nos tempos de 2 à 18 h para a fermentação alcoólica.

**Tabela 20.** Parâmetros cinéticos do processo fermentado

Parâmetros	Valores Experimentais
	Reatores (tempo, h)
	Valores experimentais (18 h)
% Conversão	74,3
Produtividade, $g (L h)^{-1}$	3,69
$Y_{x/s}$ , $g g^{-1}$	0,052
$Y_{p/s}$ , $g g^{-1}$	0,37

Observando a Tabela 20, verifica-se que o percentual de conversão e produtividade em álcool está dentro da faixa encontrada nas literaturas, Lopes et al. (2005), encontraram um % conversão e produtividade de 72,2% e  $2,18 g (L h)^{-1}$ , respectivamente, para a produção do fermentado vinho da fruta da palma forrageira. Bortolini et al. (2001) também obtiveram resultados semelhantes para conversão de 75% e produtividade numa variação entre  $0,74$  a  $2 g (L h)^{-1}$  estudando a fermentação do kiwi.

Para o rendimento do produto ( $Y_{p/s}$ ) o valor encontrado nesse trabalho foi de  $0,37 g g^{-1}$ , Andrieta & Stuppiello (1990) obtiveram um valor bem aproximado para  $Y_{p/s}$  num valor de  $0,3 g g^{-1}$ . Lopes et al. (2005) observaram o rendimento do produto bem semelhante ao realizado nesse estudo no valor de  $0,39 g g^{-1}$ . Para o rendimento em biomassa, foi observado para esse trabalho o valor igual ao encontrado por Almeida et al. (2009) estudando o fermentado do mandacaru que foi de  $0,055 g g^{-1}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES DA PRODUÇÃO DO BOLO DE ALGAROBA

### CAPÍTULO 6

## **CAPITULO 6**

Neste capítulo está apresentado à composição físico-química da farinha de 60 (0,25 mm) e 80 mesh (0,18 mm) das vagens de algaroba, como também a análise sensorial do bolo da farinha da algaroba, através dos valores atribuídos pelos provadores não treinados correspondendo a uma escala hedônica, partindo do teste desgostei a gostei muitíssimo.

### **6.1. Caracterização físico-química da farinha das vagens de algaroba**

A caracterização físico-química da farinha das vagens de algaroba (Tabela 21) se faz relevante, nesse estudo, uma vez que através dela tem-se um embasamento melhor para constituir quais são os componentes existentes na composição química de um produto que está sendo oferecido para a população.

**Tabela 21.** Composição físico-química das farinhas de 60 (0,25 mm) e 80 mesh (0,18 mm) das vagens de algaroba

Componente	Farinha 60 mesh	Farinha 80 mesh
Umidade (%)	6,30 ± 0,19	6,18 ± 0,25
Proteínas (%)	7,84 ± 0,02	7,63 ± 0,01
Lipídeos (%)	3,11 ± 0,0	2,79 ± 0,0
Acidez total (%)	6,70 ± 0,47	6,27 ± 0,45
Minerais (%)	2,38 ± 0,11	2,25 ± 0,04
FDN (%)	51,37	35,63
FDA (%)	51,18	15,34
Açúcares redutores totais	46,45 ± 0,68	53,25 ± 0,00
pH	4,74 ± 0,01	4,71 ± 0,00
Matéria Orgânica (%)	96,95	96,60
Matéria Seca (%)	93,70	93,82
Gordura bruta(%)	5,59	5,93
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	2,76	2,97
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	0,93	1,16
N (g kg <sup>-1</sup> )	18,12	18,03
P (g kg <sup>-1</sup> )	1,05	0,95
K (g kg <sup>-1</sup> )	4,10	2,88
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	35,70	32,04

Observa-se na Tabela 21 que o teor de umidade apresentada para as farinhas de 60 e 80 mesh foi superior ao encontrado para os farelos do resíduo da vagem de algaroba estudado e descrito nesse mesmo trabalho que foi de 7,87%, Almeida et al. (2003) apresentaram um teor semelhante ao encontrado nesse estudo com o valor de 7,18%.

Com relação aos valores de proteína bruta, os valores foram maiores do que do que encontrado por Stein (2002) que foi de 6,17%. Já para o teor de lipídeo analisados das farinhas, os mesmos se mostram superiores ao encontrado por Silva (2002) que foi



de 1,54% encontrado foi bem superior. Os teores de acidez totais dos resíduos das vagens de algaroba foram semelhantes ao encontrado por Silva (2002) que foi de 6,84%. Os minerais analisados para as farinhas foram inferiores ao encontrados por de Silva (2002), 2,84%, Santos & Rebouças (2007), 3,82%. Para os teores de FDN e FDA foram encontrados valores abaixo do apresentado, segundo Silva (2002) nos valores de 12,22 e 6,61 respectivamente. O pH encontrado nas amostras das farinhas de algaroba foi em torno de 4,74 e 4,71 para as farinhas de 60 e 80 mesh, respectivamente. Silva (2002) encontrou o teor de cálcio no valor 3,65%, ou seja, um pouco superior ao encontrado nesse estudo, porém os valores de fósforo de 0,36% foi bem inferior ao encontrado nessa pesquisa.

Do ponto de vista das características da composição físico-químico do resíduo da vagem de algaroba pode-se descrever que os componentes aqui observados estão de acordo com as literaturas citadas, podendo os mesmos ser usados no constituinte da produção do bolo de algaroba oferecendo assim, uma melhor qualidade nutricional.

## **6.2. Análise sensorial do bolo de algaroba**

Os valores atribuídos para os 35 provadores não treinados estão nas Tabelas 22, e 23, estes resultados são referentes a análise sensorial para os dois tipos de bolo de algaroba correspondentes a escala hedônica, com nove atribuições, do desgostei a gostei muitíssimo referentes a aparência, aroma, textura e sabor.

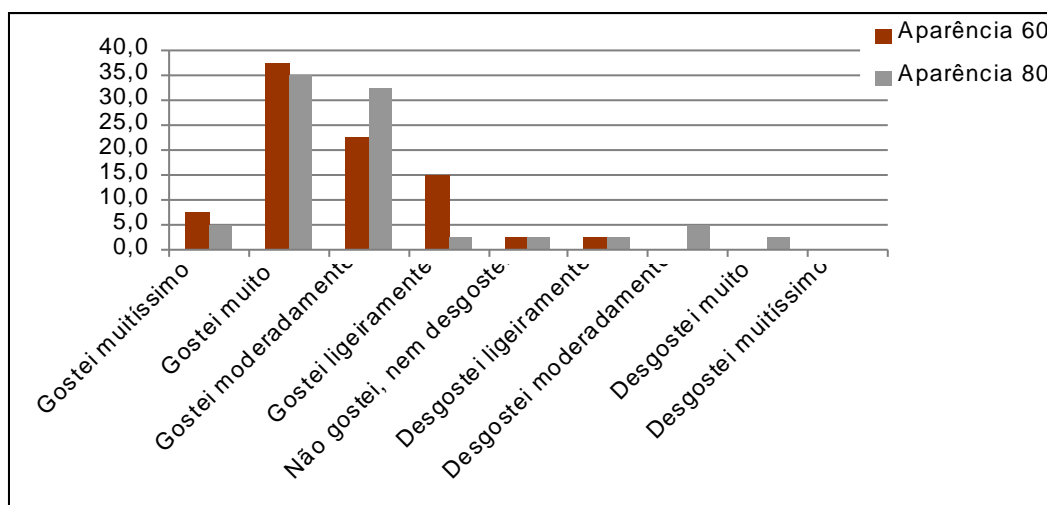
**Tabela 22.** Valores atribuídos à aparência e aroma ao bolo de algaroba com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 60 e 80 mesh

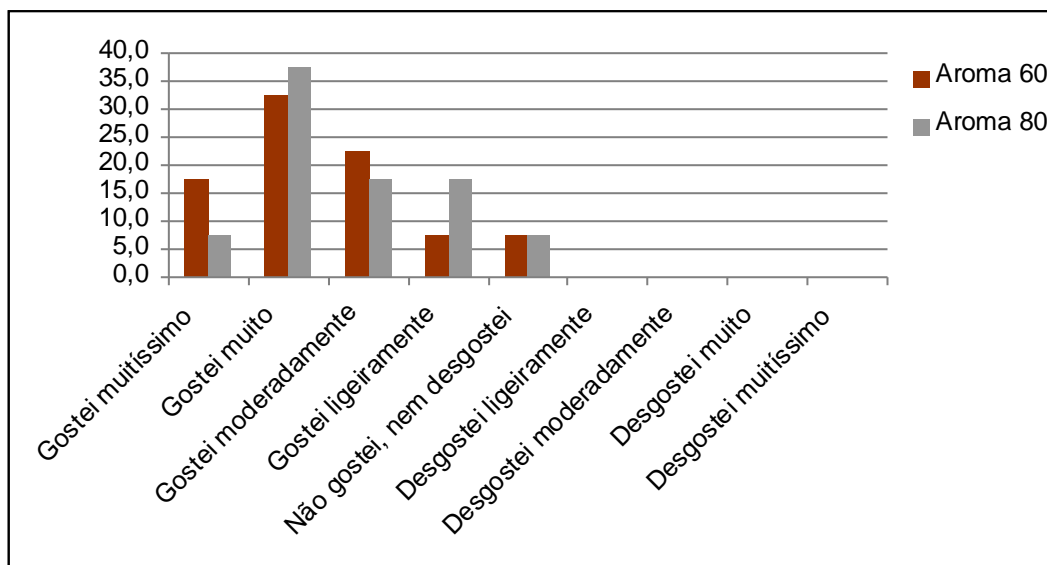
Escala hedônica	Bolo de algaroba		Bolo de algaroba	
	Aparência	Aparência	Aroma	Aroma
	(60 mesh)	(80 mesh)	(60mesh)	(80mesh)
9. Gostei muitíssimo	3	2	7	3
8. Gostei muito	15	14	13	15
7. Gostei moderadamente	9	13	9	7
6. Gostei ligeiramente	6	1	3	7
5. Não gostei, nem desgostei	1	1	3	3
4. Desgostei ligeiramente	1	1	0	0
3. Desgostei moderadamente	0	2	0	0
2. Desgostei muito	0	1	0	0
1. Desgostei muitíssimo	0	0	0	0

**Tabela 23.** Valores atribuídos à textura e sabor ao bolo de algaroba com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 60 e 80 mesh

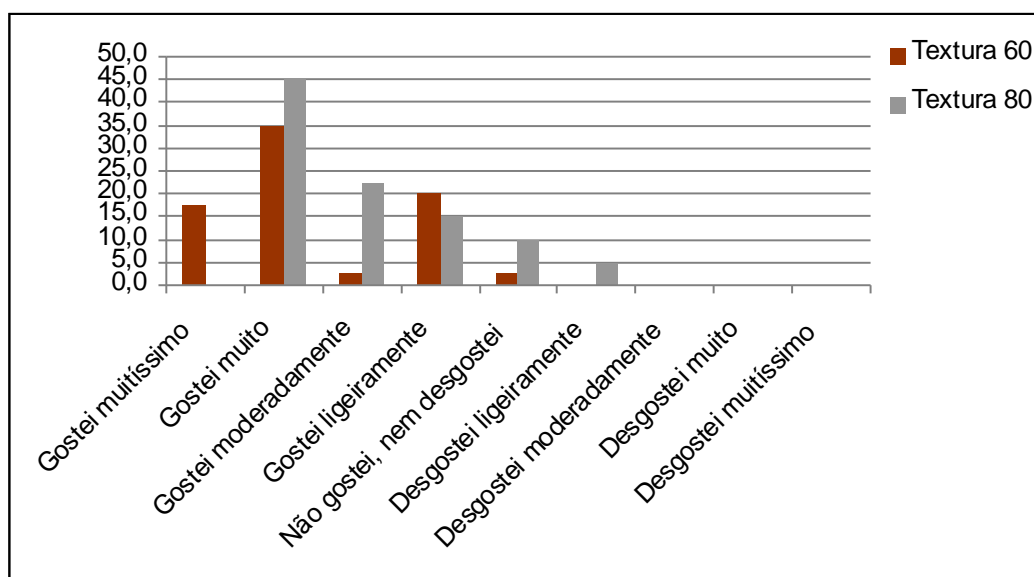
Escala hedônica	Bolo de algaroba		Bolo de algaroba	
	Textura	Textura	Sabor	Sabor
	(60 mesh)	(80 mesh)	(60mesh)	(80mesh)
9. Gostei muitíssimo	7	0	8	5
8. Gostei muito	18	15	12	12
7. Gostei moderadamente	1	9	5	8
6. Gostei ligeiramente	8	5	7	6
5. Não gostei, nem desgostei	1	4	3	3
4. Desgostei ligeiramente	0	2	0	1
3. Desgostei moderadamente	0	0	0	0
2. Desgostei muito	0	0	0	0
2. Desgostei muitíssimo	0	0	0	0

As Figuras 63, 64 65 e 66 apresentam os perfis sensoriais para os atributos de aparência, aroma, textura e sabor percebidos pelos provadores não treinados para o bolo de algaroba de 60 e 80 mesh da farinha do resíduo de algaroba.

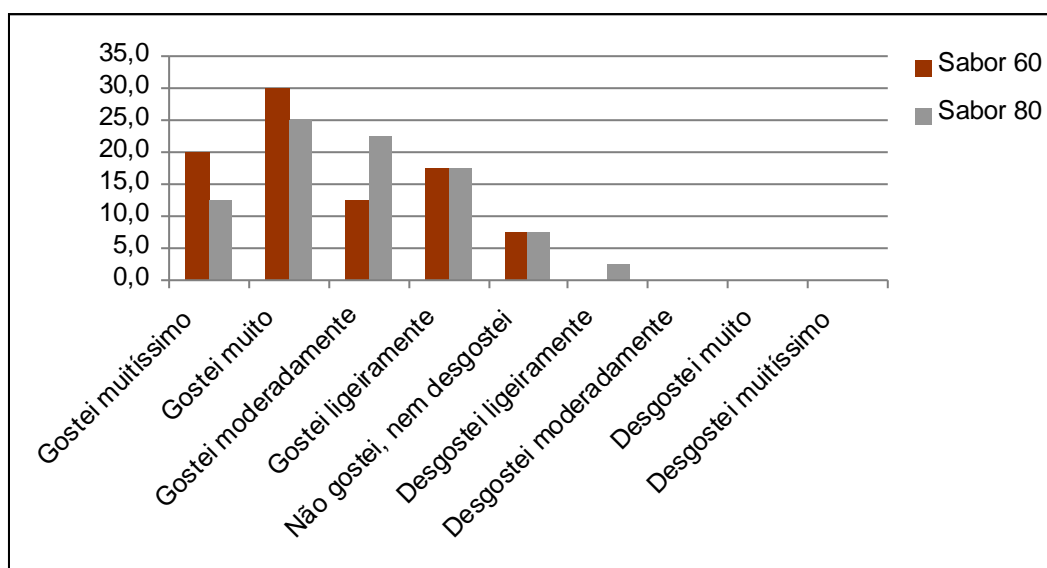
**Figura 63.** Perfil dos valores para aparência atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh



**Figura 64.** Perfil dos valores para aroma atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh.



**Figura 65.** Perfil dos valores para textura atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh



**Figura 66.** Perfil dos valores para sabor atribuídos ao bolo de algaroba para 60 e 80 mesh

Observa-se na Figura 63 que 37,5% dos provadores gostaram muito da aparência do bolo de 60 mesh, enquanto 35% gostaram do bolo de 80 mesh, isso pode significar que o bolo que obteve o maior valor apresentou um ligeiro aspecto na exterioridade.

Como pode ser observado para o perfil do aroma, foi verificado que 37,5% dos entrevistados gostaram muito do aroma do bolo de 80 mesh, enquanto 32,5% gostaram muito do bolo de 60 mesh, pode-se dizer que devido o bolo de 80 apresentar uma boa concentração de gomas do amido da algaroba, o aroma do bolo ficou mais ativo, com fazendo que as pessoas se identificassem mais com o aroma.

Para os valores atribuídos para a textura, observa-se que 45% dos provadores gostaram muito do bolo de 80 mesh, e 35% gostaram mais do bolo de 60 mesh, isso pode significar que o bolo de 80 apresentou uma textura mais fina do que o de 60 mesh.

Observando a análise realizada para sabor foi verificado que houve uma melhor aceitação para o bolo de 60 mesh, com valor de 30% (gostei muito), enquanto que o bolo de 80 mesh teve a aceitação de 25% (gostei muito), é bom salientar que 20% das pessoas atribuíram o atributo (gostei muitíssimo) ao bolo de 60 mesh.

A Tabela 24 apresenta a análise de variância e a comparação entre médias para as devidas análises sensoriais dos resíduos da farinha de algaroba para os parâmetros aparência, aroma, textura e sabor do bolo de algaroba para 35 provadores não treinados e sim orientados.

**Tabela 24.** Análise de comparação entre as médias da aparência, aroma, textura e do bolo da farinha do resíduo de algaroba com a granulometria de 60 e 80 mesh

Tratamento	Aparência	Aroma	Textura	Sabor
Farinha 60 mesh	8,25a	8,00a	11,00a	8,00a
Farinha 80 mesh	7,50a	8,00a	7,00a	7,50a
DMS	10,56	8,00	12,92	5,22

Na análise estatística para comparação da aparência para as granulometrias de 60 e 80 mesh, do resíduo das farinhas de algaroba, verificou-se que não houve diferença significativa entre os dois tratamentos. Para o aroma também, observou-se que não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, mesmo que os provadores tenham aceitado mais o aroma do bolo de 80 mesh. Verifica-se também que não houve diferença significativa para o perfil de textura e nem para o sabor, apesar dos entrevistados terem gostado mais do sabor do bolo de 60 mesh.

As análises sensoriais mostraram que os bolos com as granulometrias diferentes não diferiram estatisticamente, porém houve uma melhor aceitação no sabor e aparência para o bolo de 60 mesh, pois o bolo de 80 mesh deixava um pouco de adstringência devido o teor de taninos contido na farinha da algaroba, porém a textura e o aroma fez com que os provadores aceitassem mais do bolo de 80 mesh, independentemente dessas peculiaridades, tanto o bolo de 60 quanto o de 80 mesh foram bem aceitos pelos provadores que participaram da análise sensorial, mostrando assim, que esse produto pode ser disponibilizado no mercado sem que aja nenhum problema de rejeição.

# RESULTADOS E DISCUSSÕES DA PRODUÇÃO DO BIOETANOL

## CAPÍTULO 7



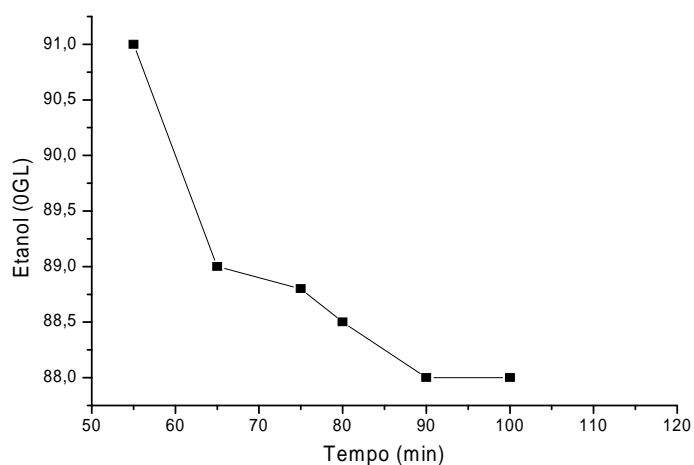
## CAPÍTULO 7

Este capítulo apresenta o processo da destilação do fermentado de algaroba para a produção do bioetanol, comparando em seguida com os padrões exigidos pela legislação brasileira com relação às análises físico-químicas.

### 7.1. Processo de produção do bioetanol

Utilizou-se um alambique de cobre adaptado com uma coluna de recheio para destilar o caldo fermentado da algaroba para produção de álcool hidratado carborante.

A Figura 67 apresenta o perfil da destilação do fermentado de algaroba com o tempo para a produção do etanol, onde a cada 250 mL do destilado do etanol era realizado uma alíquota para a leitura do teor alcoólico



**Figura 67.** Comportamento cinético da destilação do caldo de algaroba na produção de etanol

Na Figura 67 observa-se o decréscimo do grau alcoólico, que se deu em função do tempo de destilação, no qual o destilado tinha iniciado com o teor de alcoólico elevado, de 91 °GL. No tempo de 80 min da destilação, o teor alcoólico começou a estabilizar com 88,0 °GL, sendo em seguida cessado o processo de destilação do fermentado da vagem de algaroba, apontando um rendimento médio de



84,5%. Silva (2009) constatou um rendimento de 86,59%, na aguardente do fruto da palma forrageira.

## 7.2. Caracterização físico-química do etanol

Essa característica mostra os resultados obtidos no final da destilação onde foi realizada a avaliação físico-química do bioetanol produzido (Tabela 25).

**Tabela 25.** Composição físico-química do etanol do mosto das vagens de algaroba

Componente	Unidade	Especificação
		Álcool etílico hidratado combustível - AEHC (Legislação vigente)
Aspecto	-	Límpido
Cor	-	Incolor
Acidez total (como ácido acético), máximo	mg L <sup>-1</sup>	1,00
Condutividade elétrica, máx	μS m <sup>-1</sup>	412,9
Massa específica a 20 °C	Kg m <sup>-3</sup>	0,845
Teor alcoólico	°INPM	84
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	39,70
Resíduo por evaporação, máx C	mg por 100 mL	0,0
Teor de etanol, mínimo	% volume	87,00

As análises físico-químicas da produção do bioetanol produzido através do fermentado da vagem de algaroba apresentou o comportamento do pH semelhante a de literaturas encontradas no processo da destilação. Rocha et al. (2008), utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* no processo de produção de aguardente do fruto da palma forrageira encontrou o pH em torno de 2,8, enquanto Furletti (1986), encontrou

um pH entre 4,0 e 4,5, mostrando assim que esse pH encontrado não comprometeu o desenvolvimento da fermentação alcoólica.

O valor de etanol destilado demonstra uma boa qualidade, somente à gradação alcoólica está fora das especificações, o que pode ser resolvido com uma segunda destilação.

Através dos dados encontrados pode-se dizer que há viabilidade técnica para a produção do bioetanol através do fermentado da vagem de algaroba, utilizando a levedura *Sacharomyces cerevisiae* colocando assim, no mercado, mais um produto que pode ser oferecido pelos pequenos produtores rurais a fim de agregar junto à vagem de algaroba mais uma renda para a agricultora familiar.

De acordo com as diretrizes do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio externo, no plano de Estratégica Nacional de Biotecnologia (Política de Desenvolvimento da Biotecnologia), cabe o estudo de produção de álcool etílico combustível ou para fins industriais (alcoólquímica, farmacêutica, etc.), a utilização de outras culturas ou resíduos agrícolas como alternativa para matéria-prima cana-açúcar.

Com as pressões do esgotamento das fontes renováveis bem como a geopolítica do mundo (maiores reservas de petróleo estão em países com problemas de estabilidade e conflitos políticos), somando a isto o problema do meio ambiente; o álcool etílico torna-se um produto de grande impacto para redução destes problemas apontado acima, sendo uma excelente fonte de energia renovável.

A utilização dos resíduos das vagens de algaroba para produção de etanol é uma alternativa tecnicamente viável para o homem do campo, somando ganho econômico para a sobrevivência de uma parcela considerável da sociedade nordestina, minimizando os graves problemas que assola a região.

# CONCLUSÕES

---

## CAPÍTULO 8

Created with

## CONCLUSÕES - 8

### Enriquecimento protéico das vagens de algaroba

- ✓ O modelo de GAB foi o que melhor ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção dos resíduos das vagens de algaroba a temperatura de 30 °C, com um coeficiente de determinação de 99,8% e um desvio médio relativo de 3,605%;
- ✓ O melhor valor protéico para os resíduos das vagens de algaroba durante a fermentação semi-sólida, utilizando a levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae*, foi no tempo de 24 h a uma temperatura de 40 °C com a concentração de levedura de 6 % no valor de 26,27% , obtendo-se aumento protéico de 345,65%;
- ✓ Os valores dos açúcares redutores totais foram, na maioria das vezes, inversamente proporcionais ao aumento protéico para os 9 experimentos, enquanto um crescia o outro decrescia de acordo com a cinética de fermentação;

### Fermentado das vagens de algaroba

- ✓ A concentração máxima de etanol obtida com fermentado das vagens de algaroba foi de 8,95 °GL.
- ✓ A produção da bebida fermentada do caldo (vinho) da algaroba é tecnicamente viável;
- ✓ A melhor percentagem de conversão, produtividade, rendimento teórico e de biomassa, foi encontrado no tempo de 18 horas, com os valores experimentais de 74,3%, 3,69 g,(L h<sup>-1</sup>), 0,052 g g<sup>-1</sup>, e 0,37 g g<sup>-1</sup>, respectivamente.

### **Produção de bioetanol**

- ✓ No processo de produção do bioetanol (destilação) obteve-se um produto final com 88 °GL, e um rendimento de 82,5%.
- ✓ A produção de bioetanol através da inoculação da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no caldo de algaroba é uma boa alternativa para fonte energética de combustível veicular.

### **Produção de bolo de algaroba**

- ✓ A análise sensorial do bolo de 60 e 80 mesh, do resíduo das vagens de algaroba, para as avaliações de aparência, textura, aroma e sabor, não diferenciaram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade do Teste de Tukey;
- ✓ O bolo de 60 mesh mesmo não diferenciando estatisticamente do bolo de 80 mesh, foi o que obteve uma melhor preferência diante do sabor, aparência, e uma ótima aceitação na textura.

# PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS

## FUTUROS CAPÍTULO 9

Created with



## Perspectivas para trabalhos futuros - 9

### Enriquecimento protéico das vagens de algaroba

- ✓ Estudo da ampliação de escala do processo fermentativo *scaling up* e da sua viabilidade econômica.
- ✓ Otimização do processo utilizando outros reatores como o tambor rotativo em uma maior escala.
- ✓ Fazer teste com animais bovinos, caprinos e ovinos para obtenção de informações decorrente ao desempenho no ganho nutricional e protéico e na produção leiteira e de carne.
- ✓ Estudar o tempo de armazenamento do enriquecido do resíduo da vagem de algaroba.

### Fermentado das vagens de algaroba

- ✓ Fazer análise sensorial e, conseqüentemente a aceitação da bebida fermentada com provadores especializados.
- ✓ Trabalhar a viabilidade econômica da bebida fermentada da vagem de algaroba.

### Produção de bioetanol

- ✓ Aperfeiçoar o processo da destilação a fim de melhorar o estudo do produto.
- ✓ Trabalhar com o produto no contexto da viabilidade econômica no mercado dos combustíveis renováveis.

### Produção de bolo de algaroba

- ✓ Aproveitar a farinha do resíduo da vagem de algaroba para produção de outros produtos alimentícios como de massa de pizza, biscoitos, bolinhos de goma, dentre outros.
- ✓ Trabalhar com marketing com os produtos oriundos da farinha da vagem de algaroba.

Created with





# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## CAPÍTULO 10

Created with



download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

## CAPÍTULO 10

### 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.M.; CONRADO, L. de S.; SILVA, F.L.H. da; FREIRE, R.M.M.; VALENÇA, A.R. Caracterização de frutos do mandacaru provenientes de duas cidades paraibanas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, p.15-20, 2009.

ALMEIDA, F. de A.C.; SILVA, J.E da.; ARAÚJO, M.E.R.; GOUVEIA, J.P.G. de; ALMEIDA, de S.A. Componentes químicos e estudo da umidade de equilíbrio em vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.2, n.1, p.43-50, 2003.

AMERINE, M.A.; BERG, H.W.; CRUESS, W.V. **The technology of wine making**. 3.ed. Westport: The Avi Publishing Company Inc. Cap. 5: Chemistry of fermentation and composition of wines, p.177-244. 1972.

ANDRADE, J.S.; PANTOJA, L.; MAEDA, R.N. Melhoria do rendimento e do processo de obtenção da bebida alcoólica de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.suplemento, p.34-38, 2003.

ANDRIETTA, S.R.; STUPIELLO, J.P. Simulação e modelagem para processo de fermentação alcoólica (II) contínua. **STAB, Açúcar, álcool e subprodutos**, v.9, p.45-51, 1990.

AOAC - Association of Official Agricultural Chemists. **Official methods of analysis**. Washington, Ed.12, 1990.

AQUARONE, E.; LIMA, U.A.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidas por fermentação**. 2ª ed., São Paulo - SP, Edgard Blucher LTDA, v.5, 1983.

ARAÚJO, L.F.; SILVA, F.L.H. da; OLIVEIRA, L.S.C.; MEDEIROS, A.N. de; PERAZZO NETO, A. Bioconversão do mandacaru sem espinhos (*Cereus jamacaru*) em

alimento alternativo para ruminantes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.3, p.53-57, 2009.

ARRUDA, A.R.; CASIMIRO, R.S.; GARRUTI, D.S.; ABREU, F.A.P. Processamento de bebida fermentada de banana. **Revista Ciência Agronômica**, v.34, n.2, p.161-167, 2003.

ASQUIERI, E.R.; RABELO, A.M.S.; SILVA, A.G. de M. Fermentado de jaca: Estudo das características físico-químicas e sensoriais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p.881-887, 2008.

AULENBACH, B.B.; WORHINGTON, J.T. Sensory evaluation of muskmelon: is soluble solids content a good quality index. **HortScience**, v.12, p.136-137, 1974.

AYRAPAA, T. Biosynthetic formation of higher alcohols by yeast: dependence on the nitrogenous nutrient level of the medium. **Journal of the Institute of Brewing**, v.77, p.266-276, 1971.

AZEVEDO, G. de. **Algaroba**. Rio de Janeiro. Ed. Serviço de Informação Agrícola. 843. Ministério da Agricultura. 1960. 34p.

BARWAL, V.S. Low alcoholic beverages from culled apples. **Journal of Food Science and Technology**, v.28, n.4, p.257-258, 1991.

BARROS, N.A.M.T.; QUEIROZ FILHO, J.L. Efeitos na substituição progressiva do melaço por vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.) na alimentação de ruminantes. In: Simpósio Brasileiro Sobre Algaroba, 1., 1982, Natal. **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.385-407.

BERCHIELLI, T.T; OLIVEIRA, S.G.; GARCIA, A.V. Aplicação de técnicas para estudos de ingestão, composição da dieta e digestibilidade. **Archives of Veterinary Science**, v.10, n.2, p.29-40, 2005.

BORTOLINI; F.; SANT'ANNA, E.S.; TORRES, R.C. Comportamento das fermentações alcoólicas e acéticas de fermentados de kiwi (*Actinidia deliciosa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.2, n.2, p.30-42, 2001.

BORZANI, W.; BARALLE, S. B. Correction of results obtained in laboratory-scale studies of batch fermentation kinetics. **Biotechnology and Bioengineering**, v.25, p.3201-3206, 1983.

BRAMORSKI, A. **Caracterização do crescimento e produção de metabólitos voláteis por fungos filamentosos cultivados sobre substratos agroindustriais**. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, PR, 1997.

BRASIL Decreto nº 2314, 4 set. 1997, **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 de set. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos Físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p. (Série A. Normas Técnicas).

BURKART, A. **Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas**, Acme Agency. 590p. 1952.

CAMPELO, R. **Algarobeira: Alternativa para o semi-árido brasileiro**. Maceió, AL: UFAL, 1987. 25 p. (UFAL. Informe Técnico).

CAMPOS, A.R.N. **Enriquecimento nutricional da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill): Estudo experimental de ampliação de escala**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2008.

CAMPOS, A.R.N.; SANTANA, R.A.C. de; DANTAS, J.P.; OLIVEIRA, L. de S.C.; SILVA, F.L.H. da. Enriquecimento protéico do bagaço do pedúnculo de caju por cultivo semi-sólido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.2, p.1-11, 2005.

CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H.H. **Microflora**. In: CHRISTENSEN, C. M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p.158-192.

CORAZZA, M.L.; RODRIGUES, D.G.; NOZAKI, J. Preparação e Caracterização do Vinho de Laranja. **Química Nova**, v.24, n.4, p.449-452, 2001.

CORREIA, R.T.P. **Estudo do cultivo semi-sólido de *Saccharomyces cerevisiae* e *Rhizopus oligosporus* em resíduo de abacaxi**. Tese (Doutorado). 151 f.Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2004.

COUTO, S.R.; SANROMÁN, M.A. Application of solid-state fermentation to food industry – A review. **Journal of Food Engineering**, v.76, p.291-302, 2005.

DANTAS, J.R.F.; MENEZES R. Estudos experimentais de possíveis efeitos tóxicos de *Prosopis* sp “Algaroba” em bovinos. **Boletim Informativo**. Jan/fev. 1994.

DEL VALLE, F.R.; ESCOBEDO, M.; MUÑOZ, M.J. Chemical and nutritional studies on mesquite beans (*Prosopis juliflora*). **Journal of Food Science**, v.48, p.914-919, 1983.

DETROY , R.W.; HESSELTINE, C.W. Availability and utilization of agricultural and agroindustrial wastes. **Processes Biochemical**, v.13, n.9, p. 2-8, 1978.

DORTA, B.; BOSCH, A.; ARCAS, I.; ERTOLA, R. Water balance in solid state fermentation without forced aeration, Enzyme **Microbiology Technology**, v.16, p.562-565, 1994.

FAHRASMANE, C.; JOURET, C.; PARFAIT, A.; GALZY, D. Production of higher alcohols and shortchain fatty acids by different yeasts used in rum fermentations. **Journal of Food Science**, v.50, n.5, p.1427-1430, sept./oct. 1985.

FERREIRA, C.D.; PENA, R.S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, p.251-255, 2003.

FIGUEIREDO, A.A. Industrialização das vagens de algaroba (*Propopis juliflora* D.C.) visando a produção da goma da semente. Revista da Associação Brasileira de Algaroba, v.1, n.1, p.7-34, 1987.

FIGUEIREDO, A.A.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W. Produção de expandidos à base de farinha mista de algaroba e arroz e de algaroba e milho. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos - Estratégia para o Desenvolvimento, 2004, Recife. **Anais...**Recife: SBCTA, 2004. CD-Rom.

FLORENTINO, E.R.; FLORÊNCIO, I.M.; ALVES, R.M.; ARAUJO, M.S. **Caracterização do soro de queijo tipo coalho proveniente de queijeiras artesanais da zona rural da cidade de Montadas-PB.** In: I congresso Norte-Nordeste de Química, 2007, Natal/RN. I congresso Norte-Nordeste de Química - CDrom. Natal, 2007.

FRANCO, A.A.; FARIA, S.M.; MOREIRA, V.C.G. Nodulation and nitrogen fixation in *Prosopis juliflora* (SW) DC. In: The Current State of Knowledge on *Prosopis Juliflora*. International Conference on Prosopis, 1988, Rome. **Anais...** Rome: FAO, 1988. p.299-306.

FRANCO, B.D.G. de M.; LANDGRAF, M.; DESTRO, M.T. **Microbiologia de Alimentos.** São Paulo: Editora Atheneu, 1996. 174p.

FURLETTI, M.E.M. Fatores físicos e químicos que interferem na fermentação etanólica. **Fermentação etanólica: Microbiologia.** UNESP, Instituto de Biociências, São Paulo. 1986. 105p.

GILDENHUYS, P.T.; SLAUGHTER, J.S. The metabolism of putrescine, spermidine and spermine by yeast in relation to the availability of magnesium. **Journal of the Institute of Brewing**, v.89, p.333-340, 1983.

GOMES, P. **A algarobeira.** 2ed .Mossoró: Ministério da Agricultura, 1987. 49p.

GONZALEZ-SISO, M.I.; SISO, M.I.G. The biotechnological utilization of cheese whey: a review. **Bioresource Technology**, v.57, n.1, p.1-11, 1996.

GOULD, G.W. **Drying raised osmotic pressure and low water activity. En mechanisms of action of food preservation procedures.** Elsevier Applied Science, 1989, 117p.

GRANJEIRO, L.C.; PEDROSA, J.F.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M.Z. de. Qualidade de híbridos de melão amarelo em diferentes densidades de plantio. **Horticultura Brasileira**, v.17, p.110-113, 1999.

HABERMEHL, G.G. Plant toxins. **Toxicon**, v.34, n.2, p.298, 1996.

HOLANDA, J.S.; OLIVEIRA, A.J.; SALVIANO, L.M.C.; FERREIRA, A. C. **Potencial protéico de pedúnculos de caju enriquecidos por leveduras.** Fortaleza CE: EMBRAPA - Agroindustria Tropical, 1996 (Boletim de Pesquisa, 29).

HOTTINGER, T.; BOLLER, T. WIEMKEN, A. Rapid changes of heat and desiccation tolerance correlated with changes of trehalose content in *Saccharomyces cerevisiae* cells subjected to temperature shifts. **FEBS Letters**, p.113-115.1987.

HOUGH, J.S.; STEVENS, R. Beer flavour. IV. Factors affecting the production of fusel oil. **Journal of the Institute of Brewing**, v.67, p.488-494, 1961.

LaCASHA, P.A.; BRADY, H.A.; ALLEN, V.G.; RICHARDSON, C.R.; POND, K.R. Voluntary intake, digestibility, and subsequent selection of Matua brome grass, coastal bermudagrass, and alfalfa hays by yearling horses. **Journal of Animal Science**, v.77, p.2766-2773, 1999.

LE POIDEVIN, N.; ROBINSON, L. A. Métodos de diagnóstico foliares utilizados nas plantações do grupo booken na Guiana Inglesa: Amostragem geral e técnicas de análises. **Fertilité**, n.21, p.3-11, 1964.

LEHTONEN, M.; JOUNELA-ERIKSSON, P. Volatile and non-volatile compounds in the flavour of alcoholic beverages. In: PIGGOTT, J.R. **Flavors of distilled beverages: Origin and Development.** Flórida: Verlag Chemie International Inc., 1983. p.64-78.

LIMA, D.F. **Avaliação nutricional e bioquímica de *Prosopis juliflora* e seu aproveitamento na alimentação humana**. In: 2º Simpósio Brasileiro sobre algaroba. 1987. Mossoró, RN, Brasil. p.61-65. Coleção Mossoroense. N° 357.

LIMA, L.R.; MARCONDES, A.A. **Álcool carburante: Uma estratégia brasileira**. Curitiba: Editora UFPR, 248p. 2002.

LIMA, P.C.F. **Comportamento silvicultural de espécies de *Prosopis*, em Petrolina – PE, região semi-árida brasileira**. 110 f. Tese (Doutorado) – Escola de Florestas, Universidade Federal do Paraná, PR, 1994.

LIMA, P.C.F. **Expansão desordenada da algaroba compromete o meio ambiente nordestino**. <http://www.ufpb.br/>. (Agência de notícias da UFPB) Acesso em 23 de agosto de 2002.

LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, n.2, v.18, p.111-117, 1985.

LOPES, R. de V.V.; ROCHA, A.S.; SILVA, F.L.H. da; GOUVEIA, J.P.G. de. Aplicação do planejamento fatorial para otimização do estudo da produção de fermentado do fruto da palma forrageira. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n.1, p.25-32, 2005.

LU, M.Y.; MADDIX, I.S.; BROOKS, J.D. Application of a multi-layer packedbed reactor to citric acid production in solid state fermentation Systems: a review. **Process Biochemistry**, v.33, n.2, p.117-123, 1998.

MAMEDE, M.E.O.; PASTORE, G.M. Study of methods for the extraction of volatile compounds from fermented grape must. **Food Chemistry**, v.96, n.4, p.586-590, 2006.

MARQUES, T.A.; SERRA, G.E. Estudo da reciclagem de células na produção biológica de etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.4, p.532-535, 2004.



MILLER, G. Use of dinitrosalicilic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v.31, p. 426-428. 1959.

MITCHELL, D.A.; MEIEN, O.F. von; KRIEGER, N. **Bioreactor design and operation for solid state fermentation**. In: Curso de Fermentação Semi-sólida na obtenção de bioprodutos. EMBRAPA, Jaguariúna, 2002, 63p.

MORAES, I.O.; CAPALBO, D.M.F.; ARRUDA, R.O.M. Produção de Bioinseticidas. In: LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, n.4. **Processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001, v.3, p.249-278.

MORDOCCO, A.; NOPRAHTANA, M. **Solid state fermentation (SSF) research and its position in the world today**. Disponível em: <<http://crunch.cheque.uq.oz.au/biologic/webrev2.html>>. Acesso em: 5 set. 2004.

NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M.; PEREIRA, F.M.; MARTINEZ JÚNIOR.,M.; MARTINS, M. C. Efeito da adubação N, P e K no teor de sólidos solúveis totais de frutos de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Alimentos e Nutrição**, v.6, p.69-75. 1995.

NOBRE, F.V. **Algaroba, importante forrageira para o Nordeste** Natal. RN. 2ª ed. 1982. 41p. (EMPARN. Boletim Técnico, 5).

NOVAES, F.V. **Primeiro curso de extensão em aguardente de cana**. Piracicaba: ESALQ, 1974.

NRC - National Research Council. **Nutrient requirements of the beef cattle**, 6.ed. Washington: National Academy of Science, v.1, p.157, 1989.

OLIVEIRA, A.A.M.A. **Digestão total e pré-cecal dos nutrientes em potros fistulados no íleo**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1995. 92p.

OLIVEIRA, M.M. **Enriquecimento nutricional por bioconversão de resíduos agroindustriais para utilização na alimentação animal**. 145 f. Tese (Doutorado) Universidade de Campina Grande, PB, 2007.

PANDEY, A. Solid state fermentation, **Biochemical Engineering Journal**, v.13, n.2/3, p.81-84, 2003.

PARK, S.; RAMIREZ, W.F. Dynamics of foreing protein secretion from *Saccharomyces cerevisiae* **Biotechnology and Bioengineering**, v.33, 272p, 1989.

PENA, R.S.; MENEZES, L.B.C. Obtenção de vinhos de frutas: Abacaxi (*Ananas comosus*), acerola (*Malpighia glabra* L.) e maracujá (*Passiflora edulis*). **Anais da Associação Brasileira de Química**, v.43, n.3-4, p.87-91, 1994.

PERAZZO NETO, A. **Determinação de parâmetros para o enriquecimento protéico da palma (*Opuntia ficus-indica*) e vagens de algaroba (*Prosopis juliflora*) com *Aspergillus niger***. Tese (Doutorado), 152 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 1999.

PEREZ, S.C.J.A.; MORAES, J.A.P.V. Influência do estresse híbrido e do pH no processo germinativo da algarobeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.7, p.981-988, 1991.

PINHEIRO, F.M.L.; ESPINDOLA, G.B.; FUENTES, F.F.; PINHEIRO, M.J.P.; GUERREIRO, M.E.F.; FREITAS, E.D. Farinha de varinha de vagem de algaroba como fonte de energia, em rações finais para frangos de corte. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, **Anais...** Botucatu, SBZ, p.180-182, 1998.

PINHEIRO, R.V.R.; MARTELETO, L.O.; SOUZA, A.C.G. de; CASALI, W.W.D.; CONDÉ, A. R. Produtividade e qualidade dos frutos de dez variedades de goiaba, em Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, visando ao consumo ao natural e à industrialização. **Revista Ceres**, v31, p.360-387, 1984.

RAMANA, M.M.V.; KARANTH, N.G.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. **Biochemical engineering aspects of solid-state fermentation**. Advances in Applied Microbiology, v.38, p.99-146, 1993.

RANKINE, B.C. Formation of higher alcohols by wine yeasts relationship to taste thresholds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.18, p.583-589, 1967.

RAVIKALA, K.; PATEL, A.M.; MURTHY, K.S. Growth efficiency in feedlot lambs on *Prosopis Juliflora* based diets. **Small Ruminant Research**, v.16, p.227-231, 1995.

SANTOS, C.L.; REBOUÇAS, G.M.N. Comportamento ingestivo de ovinos Santa Inês alimentados com dietas contendo diferentes níveis de farelo de vagem de algaroba. In: Reunião Anual da SBPC Amazônia, 59. **Anais...** 2007, Belém: UFBA, 2007. v.14.

SILVA, F.A.S. e; AZEVEDO, C.A.V. de. Principal components analysis in the software Assistat-Statistical assistance. In: 7th World Congress on Computers in Agriculture, 7, 2009, Reno. **Proceedings...** St. Joseph: ASABE, 2009. p.1-5.

RIZZON, L.A.; MENEGUZZO, J. **Elaboração de destilado do vinho na propriedade vitícola.**, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS, 2001. 31p.

RIZZON, L.A.; MIELE, A. Avaliação da cv. merlot para elaboração de vinho tinto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.suplemento, p.156-161, 2003.

ROBINSON, T.; NIGAM, P. Bioreactor design for protein enrichment of agricultural residues by solid state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, p.197-203, 2003.

ROCHA, A.S.; SILVA, F.L.H. da.; BARACHO, T.H.A.; CANUTO, M.F.C.; SILVA, C.G. Avaliação físico-química da aguardente do fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* MILL). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 17, 2008, **Anais...** Recife. ABEQ, 2008. v.CD. p.1-8.

SANTIN, A.P. **Estudo da secagem da inativação de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*)**. 150 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 1996.

SANTOS S.C; ALMEIDA S.S.; TOLEDO A.L.; SANTANA J.C.C.; SOUZA R.R. Elaboração e análise sensorial do fermentado de acerola (*Malpighia Punicifolia* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, 5º SIPAL, março, 2005.

SCHIMIDELL, W.; FACCIOETH, M.C.R.; ABOUTBOUL, H.; KILIAN, B.V.; **Comparação de linhagens produtoras de amiloglicosidade**. EPUS/São Paulo – SP p.404 -415, 2001.

SILVA, A.M.A.; PEREIRA J.A.A.; COSTA, P.M.A.; MELLO, H.V. Valor nutritivo da algaroba (*Prosopis juliflora* S.w.) D.C.), na alimentação de suínos. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.18, n.2, p.184-195, 1989.

SILVA, C.G. **Desenvolvimento de um sistema micro-industrial para obtenção de aguardente bidestilada de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC)**. 108 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2002.

SILVA, C.G. **Otimização do processo de produção da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares**. 173 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2009.

SILVA, C.M.; MELO FILHO, A.B.; PIRES, E.F.; STAMFORD, T.L.M. Caracterização físico-química e microbiológica da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p.733-736, 2007.

SILVA, da S.A. Estudo termogravimétrico e calorímetro da algaroba, **Química Nova**, v.24, n.4, p.460–464. 2001.

SILVA, D.S.; LEITÃO, S.C.; OLIVEIRA FILHO, J.J. Substituição do farelo de trigo (*Triticum vulgare* Komarnitzky) pelo fruto triturado da algarobeira (*Prosopis juliflora* (S.

W.) D. C.) In: Simpósio Brasileiro Sobre Algaroba, 1982, Natal. **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p.361-379.

SILVA, J.D. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Editora. UFV. São Paulo, 1998. 73p.

SILVA, J.H.V. da; SILVA, E.L. da; JORDÃO FILHO, J.; TOLEDO, R.S.; ALBINO, L.F.T.; RIBEIRO, M.L.G.; COUTO, H.P. Valores energéticos e efeitos da inclusão da farinha da integral da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) em rações de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2255-2264, 2002.

SILVA, R. da ; ASQUIERI, E. R. ; PARK, Y. K. ; YIM, D.k . Production of microbial alkaline cellulase and studies of their characteristics. **Revista de Microbiologia**, v.24, n.4, p.269-274, 1993.

SILVA, E.; SASSON A. Biotechnologies: an agenda for development. **Biotechnology Development Review**, v.4, p.37-47, 1995.

SILVA, S.A; SOUZA, A.G.; CONCEIÇÃO, M.M. Estudo termogravimétrico da algaroba. **Química Nova**, v.24, n.4, p.460-464, 2001.

SOUZA, R.F.; TENÓRIO, Z. Potencialidade da algaroba no Nordeste. In: Simpósio Brasileiro Sobre Algaroba, 1982, Natal. **Anais...**Natal: EMPARN, 1982, p.198-216.

STEIN, R.B.S. **Avaliação de métodos para determinação da digestibilidade aparente utilizando farelo de vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (Swartz) D.C.) em eqüinos**. 78 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP. 2002.

SUHET, M.I. **Enriquecimento protéico do resíduo da industrialização do abacaxi (*Ananas comosus* Merrill) por fermentação: utilizando fungos filamentosos**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 1999.

SUOMALAINEN, H.; KAHANPAA, H. Formation of fusel alcohols from amino acids with branched chains. **Journal of the Institute of Brewing**, v.69, p.473-478, 1963.

PANDEY, A. Solid state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, n.2/3, p.81-84, 2003.

TABOSA, I.M.; SOUZA, J.C.; GRAÇA, D.L.; BARBOSA FILHO, J.M.; ALMEIDA, R.N. Neuronal vacuolation of the trigeminal nuclei in goats caused by ingestion of *Prosopis juliflora* pod (Mesquite beans). **Veterinária Humana Toxicological**, v.4 n3. p.155-158. 2000.

TALPADA, P.M.; SHUKLA, P.C. Influence of feeding *Prosopis juliflora* pods on digestibility and balances in lactating cows. **Industrial Journal Science**, v.58, n.6, p.727-730. 1988.

TORRES NETO, A.B.; FEITOSA, A.C.O.; SILVA, W.B.; SILVA, F.L.H. da S. Estudo da produção de vinagre da fruta da palma forrageira por processo de fermentação batelada. In: VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2006, Campinas, **Anais...**Campinas, 2006a., p.1-5. CD-ROM.

TORRES NETO, A.B.; SILVA, F.L.H. da. Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.). **Química Nova**, v.29, n.3, p.489-492, 2006b.

VENTURA, M.; JAGER, A.; PUTTER, H.; ROELOFS, F.P.M. Non-destructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). **Postharvest Biology and Technology**, v.14 p.21-27. 1998.

VERSTRAETE, W.; BEER, D. de.; PENA, M.; LETTINGA, G.; LENS, P.; DEBEER, D. Anaerobic bioprocessing of organic wastes. **World Journal Microbiology and Biotechnology**, v.12, n.3, p.221-238, 1996.

VINIEGRA-GONZALEZ, G. Solid state fermentation: Definition, characteristics, limitation and monitoring, p. 5-22. In: (Eds.) **Advances in solid-state fermentation**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.

VOGT, E.; JAKOB, L. **El vino: Obtención, elaboración y análisis**. 2.ed. Zaragoza: Acribia, 1986. 294p.

VOLLBRECHT, D.; RADLER, F. Formation of higher alcohols by amino acid auxotrophic mutants of *Saccharomyces cerevisiae*. I. Conversion of amino acids to higher alcohols. **Archives of Microbiology**, v.94, n.4, p.351-358, 1974.

WEBB, A.N.D.; INGRAHAM, J.L. Fusel oil. **Advances in applied microbiology**, v.5, p.317-353, 1963.

# Apêndice

Created with





**Tabela A1.** Dados experimentais das isotermas de adsorção na temperatura de 25 °C para os resíduos das vagens de algaroba in natura

Temperatura	
35 °C	
$a_w$	$X_{eq}$
0	0,122
0	0,344
0	0,558
0,3	0,661
0,5	0,711
0,8	0,789
1	0,817
1,5	0,862
2	0,895

**Tabela A2.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 2 h com o modelo de curvatura

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
Regressão	94,16,72	4	2354,18	0,55
Resíduo	440,397	2	220,19	
Total	9857,12	6	-	
$R^2$	83,78	-		

**Tabela A3.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 4 h com o modelo de curvatura

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
<b>Regressão</b>	13824,202	4	3456,05	1,55
<b>Resíduo</b>	232,03	2	116,01	
<b>Total</b>	14056,23	6	-	
<b>R<sup>2</sup></b>	98,35	-	-	

**Tabela A4.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 6 h com o modelo de curvatura

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
<b>Regressão</b>	14092,73	4	3523,18	0,92
<b>Resíduo</b>	397,78	2	198,89	
<b>Total</b>	14490,51	6	-	
<b>R<sup>2</sup></b>	97,25	-	-	

**Tabela A5.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 12 h com o modelo de curvatura

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
<b>Regressão</b>	34574,07	4	8643,52	0,78
<b>Resíduo</b>	1150,70	2	575,35	
<b>Total</b>	35724,77	6	-	
<b>R<sup>2</sup></b>	96,78	-	-	

**Tabela A6.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 24 h com o modelo de curvatura

Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
<b>Regressão</b>	22546,83	4	5636,71	0,59
<b>Resíduo</b>	999,18	2	499,59	
<b>Total</b>	23546,00	6	-	
<b>R<sup>2</sup></b>	95,76	-	-	

**Tabela A7.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 48 h com o modelo de curvatura

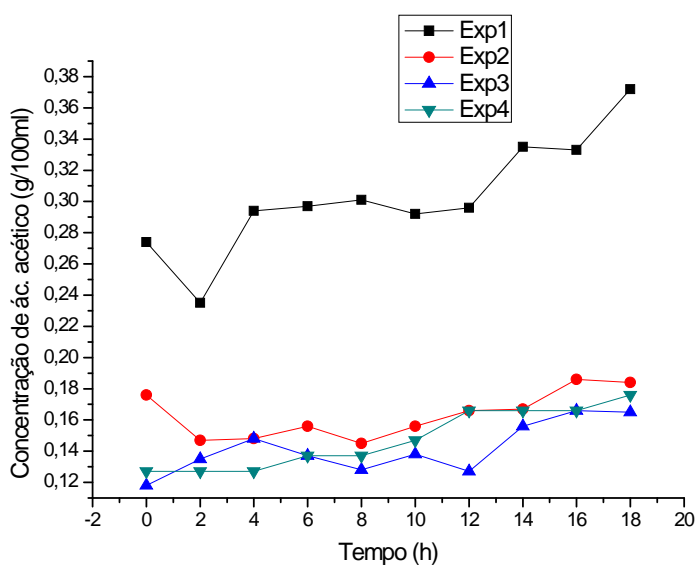
Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
<b>Regressão</b>	20818,55	4	5204,64	0,78
<b>Resíduo</b>	696,10	2	348,05	
<b>Total</b>	21514,65	6	-	
<b>R<sup>2</sup></b>	96,77	-	-	

**Tabela A8.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 72 h com o modelo de curvatura

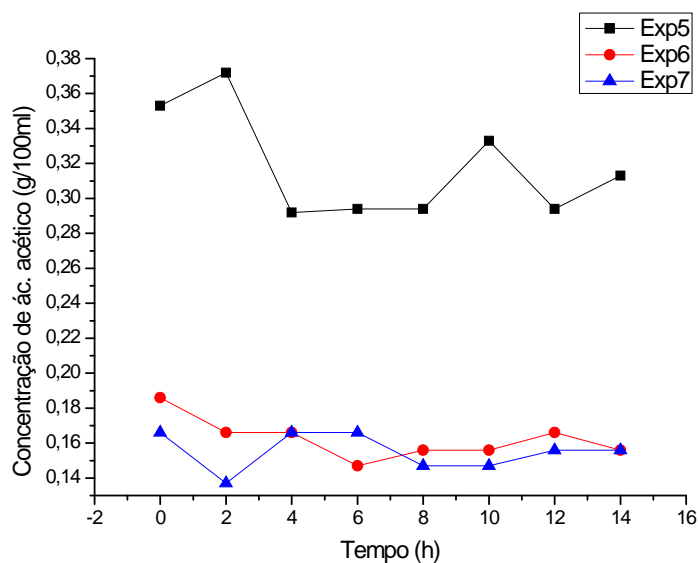
Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
<b>Regressão</b>	18364,80	4	4591,20	1,34
<b>Resíduo</b>	355,14	2	177,57	
<b>Total</b>	18719,95	6	-	
<b>R<sup>2</sup></b>	98,10	-	-	

**Tabela A9.** Análise de variância para proteína bruta dos resíduos das vagens de algaroba para o tempo de 96 h com o modelo de curvatura

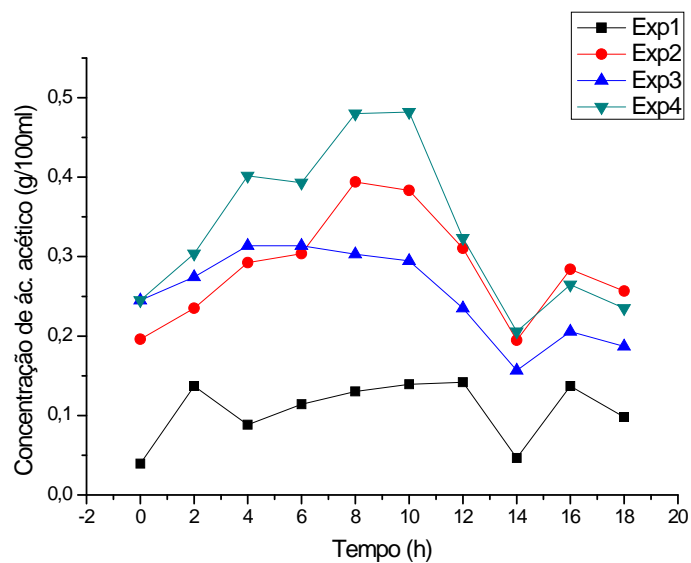
Fonte de variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	Teste F
<b>Regressão</b>	14000,74	4	3500,19	0,17
<b>Resíduo</b>	2121,45	2	1060,73	
<b>Total</b>	16122,20	6	-	
<b>R<sup>2</sup></b>	86,84	-	-	



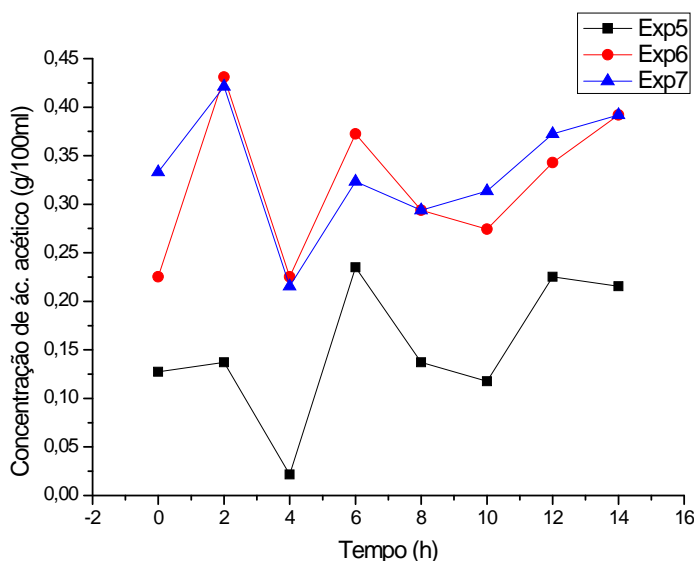
**Figura A1.** Concentração da acidez fixa, para os experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica



**Figura A2.** Concentração da acidez fixa, para os experimentos 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica



**Figura A3.** Concentração da acidez volátil, para os experimentos 1, 2, 3 e 4 durante a fermentação alcoólica



**Figura A4.** Concentração da acidez volátil, para os experimentos 5, 6 e 7 durante a fermentação alcoólica.

**Tabela A6.** Análise de variância da aparência do bolo da farinha do resíduo de algaroba com a granulometria de 60 e 80 mesh

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	1	0,00	0,00	0,00*
Resíduo	161	457,78	28,61	
Total	17	457,78		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

**Tabela A7.** Análise de variância da aroma do bolo da farinha do resíduo de algaroba com a granulometria de 60 e 80 mesh

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	1	2,72	2,72	0,1122 ns
Resíduo	161	385,77	24,11	
Total	17	385,50		

ns - não significativo

**Tabela A8.** Análise de variância da textura do bolo da farinha do resíduo de algaroba com a granulometria de 60 e 80 mesh

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	1	0,00	0,00	0,00*
Resíduo	161	517.77	32.36	
Total	17	517.77		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

**Tabela A9.** Análise de variância do sabor do bolo da farinha do resíduo de algaroba com a granulometria de 60 e 80 mesh

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	1	0,00	0,00	0,00*
Resíduo	161	297.77	18.61	
Total	17	297.77		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade